

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže



Testy keramických řezných nástrojů Tungaloy na materiálu C45 na  
simulátoru přerušovaného řezu

Tungaloy Ceramic Cutting Tools on material C45 with an Interrupted Cut  
Simulator

**Vedoucí bakalářské práce:**

Ing. Robert Čep, Ph.D.

**Student:**

Šincl Petr

**Ostrava 2011**

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra obrábění a montáže

## Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Šincl**  
Studijní program: **B2341 Strojírenství**  
Studijní obor: **2303R002 Strojírenská technologie**  
Téma: **Testy keramických řezných nástrojů Tungaloy na materiálu C45 na simulátoru přerušovaného řezu**  
**Tungaloy Ceramic Cutting Tools on Material C45 with an Interrupted Cut Simulator**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky.
2. Trvanlivost a životnost obráběcích nástrojů.
3. Experimentální testování nástrojů.
4. Vyhodnocení testů.
5. Technicko-ekonomické zhodnocení.
6. Závěr.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] NESLUŠAN, Miroslav; TUREK, Stanislav; BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; TABAČEK, Marian. *Experimentálne metódy v trieskovom obrábání*. Žilina : EDIS Žilina, 2007. 343 s. ISBN 978-80-8070-711-8.
- [2] BRYCHTA, Josef; ČEP, Robert; SADÍLEK, Marek; PETŘKOVSKÁ, Lenka; NOVÁKOVÁ, Jana. *Nové směry v progresivním obrábění*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 2007. Dostupné na <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO>. ISBN 978-80-248-1505-3.
- [3] ZAJAC, Jozef; JURKO, Jozef; ČEP, Robert. *Top trendy v obrábění, II. část – Nástrojové materiály*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 193 s. ISBN 80-968954-2-7.
- [4] VASILKO, Karol; HAVRILA, Michal; MARCINCIN-NOVÁK, Jozef; MÁDL, Jan; ZAJAC, Jozef. *Top trendy v obrábění, III. část – Technologie obrábění*. Žilina : Media/ST, s.r.o. Žilina, 2006. 214 s. ISBN 80-968954-2-7.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

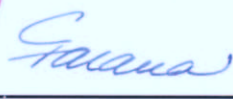
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.**

Datum zadání: 17.12.2010

Datum odevzdání: 23.05.2011

  
\_\_\_\_\_  
doc. Ing. Robert Čep, Ph.D.  
vedoucí katedry

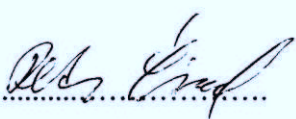


  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Radim Farana, CSc.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 23.5.2019



Petr Šincl

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 11/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 23.5. 2011



Petr Šincl

Javoříčská 397

Litovel

784 01

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

ŠINCL, P. *Testy keramických řezných nástrojů Tungaloy na materiálu C45 na simulátoru přerušovaného řezu*. Ostrava: Katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB – Technická universita Ostrava, 2011. 47 s. Bakalářská práce, vedoucí: Ing. Robert ČEP, Ph.D.

Bakalářská práce se zabývá testováním životnosti nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu. V úvodu je práce zaměřena na teoretickou část ohledně řezných nástrojů, jejich vlastností, trvanlivosti, životnosti či opotřebení. Další část práce obsahuje experimentální testování nástrojů. Testovány byly 2 druhy řezné keramiky od výrobce Tungaloy a to 4 destičky FX105 a 4 destičky CX710. Obráběným materiálem byla ocel 12 050 (C45). Obráběcím strojem byl soustruh ZMN SLIVEN typ 500, rok výroby 1982. Dále je uveden rozbor a postup sestavení použitého přípravku. Dle testování se zjistili závěry, které jsou vyhodnoceny v tabulkách, grafech či na snímcích destiček daných nástrojů, kde je vidět určité opotřebení.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

ŠINCL, P. *Tungaloy Ceramic Cutting Tools on material C45 with an Interrupted Cut Simulator*. Ostrava: Department of Machining and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering VSB – Technical University Ostrava, 2011. 47 p. Head of bachelor thesis: Robert ČEP, Ph.D., MSc.

This bachelor thesis deals problems of tool life tests of ceramic cutting tools at interrupted cut at turning. In the beginning is work focuses on the theoretical part on cutting tools, their characteristics, durability, life or attrition. Next part of this work includes experimental testing tools. Were tested two types of ceramic cutting tools from producer called Tungaloy and that four cutting plates FX105 and four cutting plates CX710. Machined materials were steel 12 050 (C45). Machine tool was lathe called ZMN SLIVEN type 500, year of manufacture 1982. The following is an analysis and compilation of the preparation used. Through testing to identify the findings are evaluated in tables, graphs or images of cutting plates, where you can see attrition.

## Obsah

Seznam použitého značení, symbolů a zkratk .....	8
<b>1 Úvod .....</b>	<b>10</b>
<b>2 Úvod do problematiky .....</b>	<b>11</b>
2.1 Řezná keramika .....	11
2.2 Hlavní podmínky efektivního využití řezné keramiky .....	11
2.3 Obecný postup výroby keramických materiálů .....	12
2.4 Všeobecné dělení .....	12
2.4.1 Snímky keramik .....	12
2.5 Základní vlastnosti řezných materiálů .....	13
2.5.1 Materiály pro řezné nástroje a jejich vlastnosti .....	14
<b>3 Trvanlivost a životnost obráběcích nástrojů .....</b>	<b>16</b>
3.1 Vztah životnosti přebušovaného nástroje .....	16
3.2 Vztah pro nástroj s mechanickým upínáním VBD .....	16
3.3 Taylorův vztah .....	17
3.3.1 $T-v_c$ závislost .....	17
3.4 Závislost nákladů na trvanlivosti .....	18
3.5 Jednotkový strojní čas $t_{AS}$ .....	19
3.6 Opotřebení obráběcích nástrojů .....	20
3.6.1 Druhy opotřebení .....	20
3.7 Časová závislost opotřebení pro různé řezné rychlosti .....	22
3.8 Schematické příklady opotřebení: .....	23
3.9 Teplo a teplota řezání .....	23
3.9.1 Schematické znázornění .....	24
3.9.2 Teplota v daném časovém okamžiku závisí na několika faktorech .....	24
3.9.3 Zdroje tepla .....	24
3.9.4 Rovnice tepelné bilance při obrábění .....	24

<b>4 Experimentální testování nástrojů .....</b>	<b>25</b>
4.1 Přerušovaný řez .....	25
4.1.1 Sestavení přípravku .....	26
4.2 Obráběné lišty .....	28
4.2.1 Materiál lišt.....	28
4.2.2 Úprava lišt před vlastním měřením .....	30
4.3 Zvolený obráběcí stroj.....	30
4.4 Nástrojový držák a řezná geometrie.....	31
4.5 Testované nástrojové materiály.....	32
4.5.1 O firmě Tungaloy .....	32
4.5.2 Testované VBD .....	33
4.6 Řezné parametry.....	34
4.7 Vyhodnocovací zařízení.....	34
<b>5 Vyhodnocení experimentálního měření.....</b>	<b>35</b>
5.1 Sledování počtu rázů .....	35
5.2 Výsledky měření .....	36
5.2.1 Výsledné hodnoty pro destičky FX 105 .....	36
5.2.2 Výsledné hodnoty pro destičky CX 710.....	37
5.3 Snímky opotřebení jednotlivých VBD.....	39
<b>6 Zhodnocení výsledků .....</b>	<b>43</b>
<b>7 Závěr .....</b>	<b>45</b>
Seznam použité literatury .....	47

**Seznam použitého značení, symbolů a zkratk**

C45	Značka oceli 12 050 dle ČSN EN 10027-1
$C_T [-]$ , $C_v [-]$	Konstanty u Taylorových vztahů
$F_c$	Řezná složka síly obrábění
FX105, CX710	Označení VBD firmy Tungaloy
HIP	Spékání za vyšších teplot a tlaku
KNB	Kubický nitrid bóru
Kr	Úhel nastavení hlavního ostří
$L [mm]$	Dráha nástroje ve směru posuvu
$N_c [Kč]$	Výrobní náklady na obrobek jednoho kusu konkrétní součásti
$N_n [Kč]$	Náklady na nástroj a jeho výměnu
$N_s [Kč]$	Náklady na strojní práci
$N_T [Kč]$	Náklady na nástroj a jeho výměnu
$N_v [Kč]$	Náklady na vedlejší práci
$N_{vm} [Kč]$	Náklady na minutu vedlejší práce
$Q_c$	Celkové množství tepla vzniklé při obrábění za jednu minutu
$R [-]$	Počet rázů
RO	Rychlořezné oceli
ŘK	Řezná keramika



SK	Slinuté karbidy
T [min]	Aritmetický průměr hodnot $T_i$
$T_i$ [min]	Jednotlivé trvanlivosti
VB	Kritérium opotřebení na hřbetu
VBD	Vyměnitelné břitové destičky
$a_p$	Šířka záběru ostří
f	Posuv na otáčku
l [mm]	Délka soustružené plochy
$l_n$ [mm]	Délka náběhu
$l_p$ [mm]	Délka přeběhu
m [-]	Exponent vyjadřující směrnici vytvořené přímky
q [-]	Počet použitelných ostří destičky
$t_{AS}$	Jednotkový strojní čas
$t_{AV}$ [min]	Jednotkový vedlejší čas
$v_c$ [m min <sup>-1</sup> ]	Řezná rychlost
$v_f$ [mm min <sup>-1</sup> ]	Posuvová rychlost
x [-]	Počet možných ostření nástroje
$z_v$	Počet výměn nástroje
$\gamma$	Úhel čela
$\epsilon_r$	Úhel špičky
$\lambda_s$	Úhel sklonu ostří

## 1 Úvod

V dané problematice se zabýváme podélným soustružením s přerušovaným řezem, kde je potřeba zvolit vhodný řezný nástroj, my budeme volit a testovat nástroj z řezné keramiky. Velkou roli hraje volba správného řezného nástroje, materiálu a geometrie břitu. Při obrábění vznikají vibrace, které způsobují předčasné ukončení trvanlivosti břitu. Pro nejlepší volbu řezného nástroje, musíme provést zkoušky na simulátoru přerušovaného řezu při podélném soustružení. Při dané zkoušce budeme vyhodnocovat počet rázů na obrobené délce za určitých řezných podmínek. Díky počtu rázů, které VBD zvládne do opotřebení, zjistíme trvanlivost a životnost VBD z řezné keramiky.

Trvanlivost je vlastně součet všech čistých (strojních) časů řezání, od začátku obrábění až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria. Závisí na metodě obrábění, vlastnostech obráběného i nástrojového materiálu a řezných podmínkách. Počátkem 20. století zjistil F.W.Taylor, že na trvanlivost nástroje má největší vliv řezná rychlost a odvodil tzv. Taylorův vztah.

Životnost řezného nástroje je součet všech jeho trvanlivostí, nebo celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení. Tato zkouška je nezbytnou součástí pro vývoj nových nástrojů a hodnocení jejich životnosti [2].

My jsme testovali řezné nástroje Tungaloy na simulátoru přerušovaného řezu, podélným soustružením materiálu C45. Bylo testováno celkem 8 destiček Tungaloy a to 4 destičky FX105 a 4 destičky CX710.

Řezná keramika se poslední dobou intenzivně vyvíjí, hlavně zlepšením jejich vlastností. Došlo k rozšíření jejich řezných aplikací a to u obrábění s plynulým nebo s přerušovaným řezem. Testování jednotlivých řezných materiálů, se provádí proto, aby byl nalezen ten nejefektivnější a nejvhodnější řezný materiál, který za určitých podmínek dokáže obrobek obrobit s co nejlepšími výsledky.

## 2 Úvod do problematiky

### 2.1 Řezná keramika

Patří mezi výkonné řezné materiály. Je charakterizována převážně jako krystalický materiál. Hlavní složkou jsou anorganické sloučeniny nekovového charakteru. Keramické látky jsou vázány meziatomovými vazbami iontovými a kovalentními, jejich vazba není ale čistě iontová nebo čistě kovalentní, obvykle se vyskytují oba typy vazby současně. V krystalové struktuře převažují složité mřížky kubické a hexagonální.

Největší zastoupení v oblasti obrábění zaujímá celosvětově slinutý karbid. Řezná keramika je využívána pouze v oblastech, kde nelze produktivně využít slinutý karbid.

U řezné keramiky se ve výrobě vyžaduje správná volba řezných podmínek, dodržení určitých zásad, aby bylo využito jejich výhodných vlastností v plné míře a nevýhodné co nejvíce potlačit. [1]

### 2.2 Hlavní podmínky efektivního využití řezné keramiky

- vysoká tuhost systému stroj – nástroj – obrobek (zamezení kmitání jakéhokoli druhu, které zvyšuje intenzitu opotřebení nástroje).
- použití výkonných obráběcích strojů se širokým rozsahem posuvů a otáček s možností nastavení vysokých řezných rychlostí, plynulá regulace otáček.
- výborný stav obráběcího stroje.
- zabezpečení pevného a spolehlivého upnutí obrobku, zejména při vysokých otáčkách, kdy působí velké odstředivé síly.
- zakrytování pracovní části obráběcího stroje.
- výběr vhodného tvaru a velikosti břitové destičky.
- správná volba tvaru ostří břitové destičky (velikost a sklon negativní fazetky na čele).
- překonání nedůvěry k novému nástrojovému materiálu u technologa i pracovníka, který stroj obsluhuje [1].

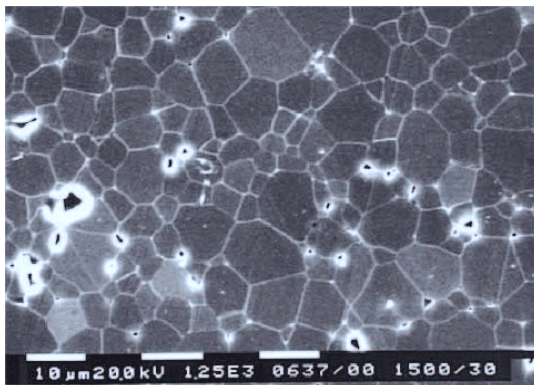
## 2.3 Obecný postup výroby keramických materiálů

- příprava práškové směsi,
- mletí,
- míchání,
- tvarování,
- sušení,
- předslinování,
- slinování,
- úpravy povrchu.

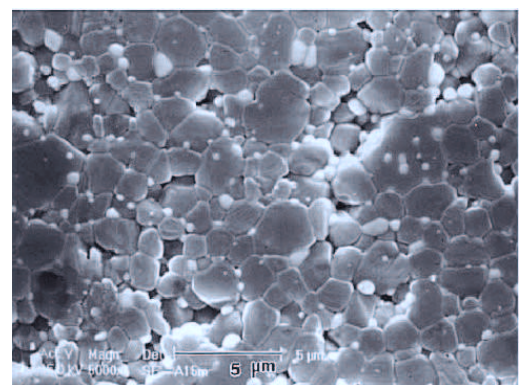
## 2.4 Všeobecné dělení

- Oxidická keramika
  - čistá (čistý  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ).
  - polosměsná ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{CoO}$ ).
  - směsná ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2 + \text{TiC}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$ ).
- Nitridová ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN}$ , sialony).
- Vyztužená (oxidická nebo nitridová keramika vyztužená pomocí whiskerů  $\text{SiC}$  nebo  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) [1].

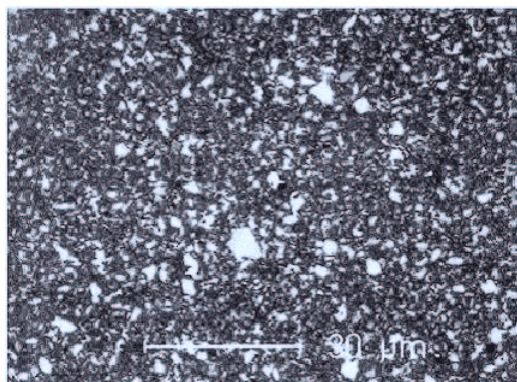
### 2.4.1 Snímky keramik



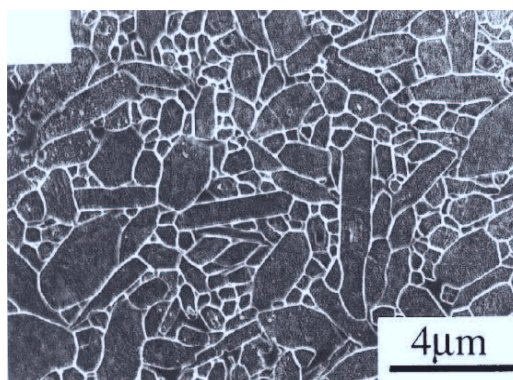
Obr. 2.1  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [2].



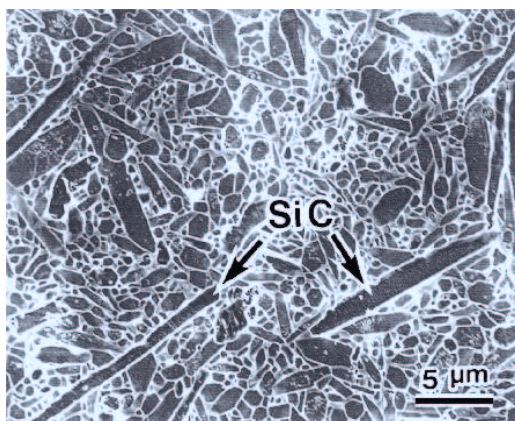
Obr. 2.2  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 15\% \text{ZrO}_2$  [2].



Obr. 2.3  $Al_2O_3+TiC$  [2].



Obr. 2.4  $Si_3N_4$  [2].



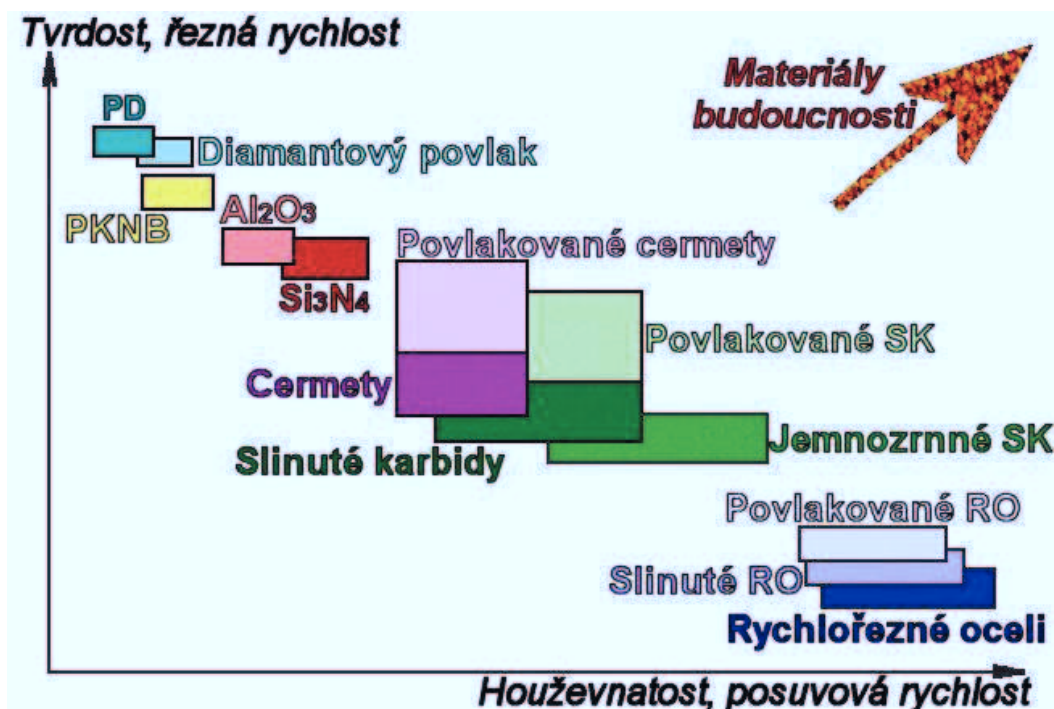
Obr. 2.5 Vyztužená [2].

## 2.5 Základní vlastnosti řezných materiálů

- Malý rozměr zrna (často pod 1  $\mu m$ ).
- Vysoká tvrdost.
- Nízká houževnatost.
- Nízká měrná hmotnost.
- Odolnost proti opotřebení.
- Odolnost vůči tepelnému šoku.
- Tepelná roztažnost.
- Tepelná vodivost.

### 2.5.1 Materiály pro řezné nástroje a jejich vlastnosti

Závislost mezi řeznými podmínkami (řezná rychlost - posuvová rychlost) a mezi základními vlastnostmi (tvrdost - houževnatost) viz. (Obr. 2.6).



Obr. 2.6 Vliv mechanických vlastností nástrojového materiálu na pracovní podmínky [2].

Slinuté karbidy (SK) mají vysoký modul pružnosti, ohybovou pevnost a lomovou houževnatost. Použití pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro přerušované řezy. Nepoužitelné ve vyšších rychlostech.

Rychlořezné oceli (RO) mají vysokou houževnatost, ale tvrdost je nízká. Použití na výrobu nástrojů určených k obrábění nízkými řeznými rychlostmi a pro tvarově složité nástroje, které nemohou být vyrobeny z ostatních řezných materiálů.

Povlakové slinuté karbidy se skládají z relativně houževnatého karbidového podkladu a tvrdého povlaku. Použití při vysokých řezných i posuvových rychlostech, umožňující velké úběry materiálu vhodné i pro přerušované řezy.

Cermety se používají u vyšší posuvové rychlosti než má řezná keramika a pro řezné rychlosti na úrovni slinutých karbidů. Mají nižší houževnatost, proto jsou použity na lehké a střední řezy. Při vyšších posuvech dochází na špičce nástroje k plastické deformaci. Cermety jsou využívány při obrábění korozivzdorných ocelí.

Řezná keramika (ŘK) na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  - použití pro obrábění vysokými řeznými rychlostmi a nízkými posuvovými rychlostmi, má vysokou tvrdost za tepla a nízkou houževnatost.

ŘK na bázi  $\text{Si}_3\text{N}_4$  - vyšší houževnatost, pro vyšší posuvové rychlosti. ŘK je vhodná pro obrábění šedých litin.

Syntetický diamant a kubický nitrid bóru (KNB), nejvyšší tvrdost a vysoká odolnost proti opotřebení. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena nástroje. Použití pro speciální případy obrábění. Hlavní aplikací diamantu je obrábění neželezných slitin [2].



### 3 Trvanlivost a životnost obráběcích nástrojů

#### Trvanlivost řezného nástroje

Je to vlastně součet všech čistých (strojních) časů řezání, od začátku obrábění až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria. Závisí na metodě obrábění, vlastnostech obráběného i nástrojového materiálu a řezných podmínkách. Počátkem 20. století zjistil F.W.Taylor, že na trvanlivost nástroje má největší vliv řezná rychlost a odvodil tzv. Taylorův vztah.

#### Životnost řezného nástroje

Je to součet všech jeho trvanlivostí, nebo celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení. Tato zkouška je nezbytnou součástí pro vývoj nových nástrojů a hodnocení jejich životnosti [3].

#### 3.1 Vztah životnosti přebroušovaného nástroje

$$Z = \sum_{i=1}^{x+1} T_i = (x+1) \cdot T \quad / \text{min} /$$

kde:  $T_i$  [min] - jednotlivé trvanlivosti,

$T$  [min] - aritmetický průměr hodnot  $T_i$

$x$  [-] - počet možných ostření nástroje

#### 3.2 Vztah pro nástroj s mechanickým upínáním VBD

$$Z = \sum_{i=1}^q T_i = q \cdot T \quad / \text{min} /$$

kde:  $T_i$  [min] - trvanlivosti jednotlivých ostří destičky

$T$  [min] - aritmetický průměr hodnot  $T_i$

$q$  [-] - počet použitelných ostří destičky



### 3.3 Taylorův vztah

$$\text{A)} \quad T = \frac{C_T}{v_c^m} \quad / \text{min} /$$

kde:  $C_T [-]$  - konstanta

$v_c [\text{m min}^{-1}]$  - řezná rychlost

$m [-]$  – exponent

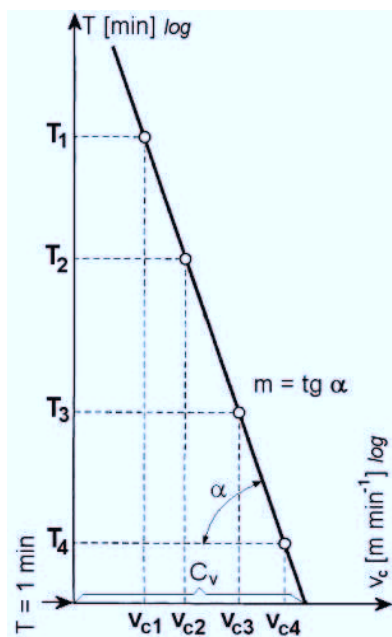
Nebo vzhledem k velmi vysoké a nepraktické hodnotě konstanty  $C_T$  (řádově  $10^9 \div 10^{13}$ ) častěji ve tvaru:

$$\text{B)} \quad v_c = \frac{C_v}{T^{1/m}} \quad / \text{m.min}^{-1} /$$

kde:  $C_v [-]$  – konstanta

(protože  $C_v = C_T^{1/m}$ , je řádová velikost konstanty  $C_v$  pouze  $10^2 \div 10^3$ ).

#### 3.3.1 $T$ - $v_c$ závislost

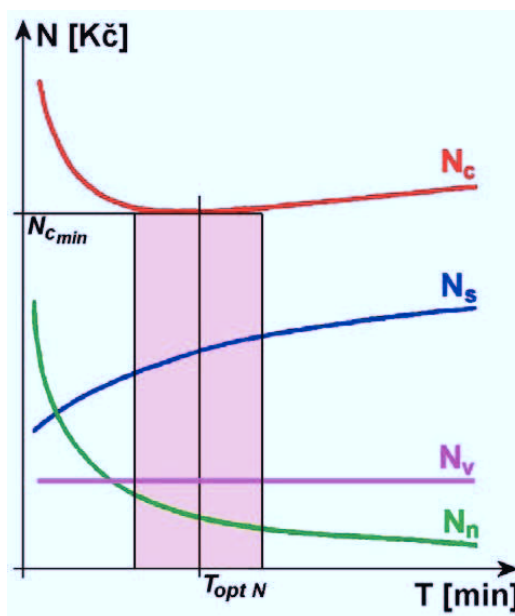


Obr. 3.1  $T$ - $v_c$  závislost [3].

Pro předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (např.  $VB = \text{konst} = 0,3\text{mm}$ ) jsou z časových křivek  $VB$  odečteny hodnoty trvanlivosti  $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  a  $T_4$  které odpovídají zvoleným řezným rychlostem  $v_{c1}$ ,  $v_{c2}$ ,  $v_{c3}$  a  $v_{c4}$ . Body o souřadnicích  $v_{c1}-T_1$ ,  $v_{c2}-T_2$ ,  $v_{c3}-T_3$  a  $v_{c4}-T_4$  jsou pak vyneseny do diagramu s logaritmickými souřadnicemi  $T$  a  $v_c$ , kde vytvoří přímku, která odpovídá zvolené hodnotě  $VB$  (obr.  $T-v_c$  závislost). Matematicky je získaná  $T-v_c$  závislost popsána základními vztahy (A) a (B), hodnotu konstanty  $C_T$  lze odečíst na ose  $T$  pro řeznou rychlost  $v_c = 1\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$ , hodnotu konstanty  $C_v$  na ose  $v_c$  pro trvanlivost  $T = 1\text{min}$ , exponent  $m$  vyjadřuje směrnici vytvořené přímky,  $m = \text{tg}\alpha$ . Nevýhodou uvedených základních vztahů  $T-v_c$  závislosti je omezení následujícími podmínkami:

- šířka záběru ostří  $a_p = \text{konst}$ ,
- posuv na otáčku  $f = \text{konst}$ ,
- opotřebení  $VB = \text{konst}$ .

### 3.4 Závislost nákladů na trvanlivosti



Obr. 3.2 Závislost nákladů na trvanlivosti [3].

Kde:  $N_c$  [Kč] - výrobní náklady na obrobení jednoho kusu konkrétní součásti,

$$N_c = N_s + N_v + N_n$$

$N_s$  [Kč] - náklady na strojní práci,  $N_s = t_{AS} \cdot N_{sm}$

$N_v$  [Kč] - náklady na vedlejší práci,  $N_v = t_{AV} \cdot N_{vm}$

$N_n$  [Kč] - náklady na nástroj a jeho výměnu,  $N_n = N_T \cdot z_v$

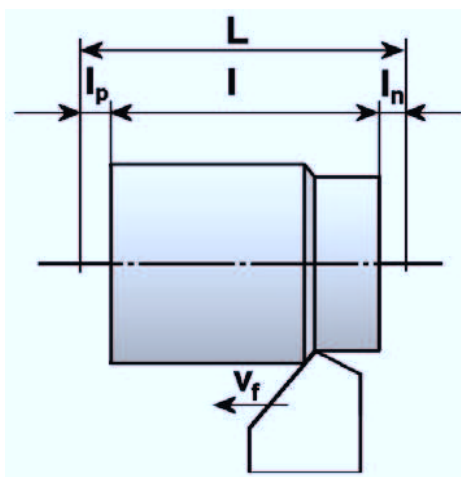
Kde:  $t_{AV}$  [min] - jednotkový vedlejší čas,  $N_{vm}$  [Kč] - náklady na minutu vedlejší práce

(pro praktické řešení platí  $N_{vm} \cong N_{sm}$ ).

$N_T$  [Kč] - náklady na nástroj a jeho výměnu, vztažené na jednu trvanlivost,

$z_v = \frac{t_{AS}}{T}$  [-] - počet výměn nástroje, vztažený na obrobení jednoho kusu.

### 3.5 Jednotkový strojní čas $t_{AS}$



Obr. 3.3 Podélné soustružení [4].

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{v_f} \quad [\text{min}]$$

Kde:  $L$  [mm] - dráha nástroje ve směru posuvu

$l$  [mm] - délka soustružené plochy

$v_f$  [mm/min] - posuvová rychlost

$l_p$  [mm] - délka přeběhu

$l_n$  [mm] - délka náběhu

### 3.6 Opotřebení obráběcích nástrojů

Při obrábění dochází ke vzájemnému kontaktu a relativnímu pohybu nástroje s obrobkem a také nástroje s třískou. Z toho na ploše hřbetu a čela nástroje dochází k vytváření velkého množství tepla, které spojené s vysokým tlakem při utváření třísky způsobí opotřebení nástroje.

#### 3.6.1 Druhy opotřebení

- abrazivní opotřebení
- oxidační opotřebení
- adhezní opotřebení
- difusní opotřebení
- lom statický či dynamický

#### Abrazivní opotřebení

Vzniká při působení tvrdých částic v materiálu obrobku. Tvrdost bříty nástroje má významný vliv na jeho schopnost odolávat abrazivnímu otěru, to ale neznamena, že musí stejně dobře odolávat i jiným mechanismům opotřebení.

#### Difusní opotřebení

Tato forma opotřebení vzniká při procesu obrábění působením chemických vlivů. Chemické vlastnosti a vzájemný vztah řezného a obráběného materiálu mají zásadní vliv na průběh difusního opotřebení. Toto opotřebení také úzce souvisí s teplotou, a proto se při vysokých řezných rychlostech vytvoří největší žlábek na čele nástroje. Výměna atomů probíhá ve dvou různých směrech. V jednom směru probíhá výměna z feritu oceli do nástroje a u druhého směru putují atomy uhlíku do třísky. Projevuje se hlavně u nástrojů z diamantu.

#### Oxidační opotřebení

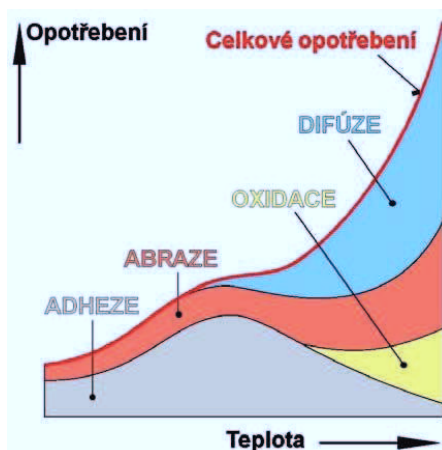
Způsobeno zejména vysokou teplotou a okolním vzduchem. Oxidy jako je wolfram a kobalt tvoří porézní filmy, které jsou snadno odnášeny třískou. Naopak jiné oxidy (např.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) jsou naproti tomu podstatně pevnější a tvrdší. Tedy náchylnost k oxidačnímu opotřebení je u každého materiálu různá.

## Lom

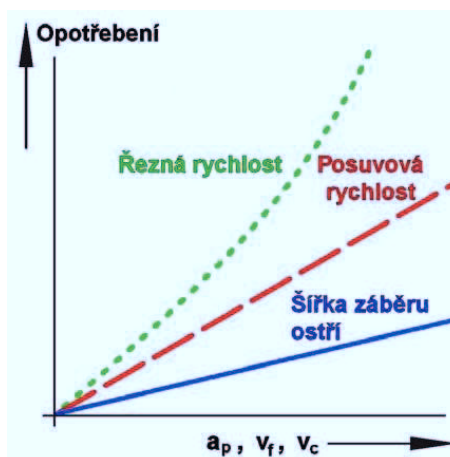
Způsoben působením termomechanických vlivů. Neustálá změna teplot a zatížení řeznými silami mohou vést k vydrolování a lomu řezného nástroje. Mechanická únava může být vyvolána s ohledem na mechanickou pevnost břitu příliš vysokými řeznými silami. Příčiny mohou být jednak v příliš vysoké tvrdosti, pevnosti materiálu obrobku, nebo v příliš tvrdém řezném materiálu. Ovšem i v případě měkčího řezného nástrojového materiálu může dojít k lomu, pokud vlivem vysokých teplot dojde k plastické deformaci a tím ke změnám jeho geometrie. Důsledkem toho je zvýšení řezné síly a následný lom nástroje.

## Adhezní opotřebení

Opotřebení vzniká hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele břitu nástroje. Může vzniknout u materiálu tvořících jak krátkou, tak i dlouhou třísku. Tento jev vede k vytváření nárůstků mezi třískou a břitem. Jedná se o dynamický jev, při kterém dochází k navařování a vytvrzování vrstev z třísky, čímž se stávají součástí břitu. Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu, a nebo poškodit původní břit vydrolováním nebo výlomem [4].

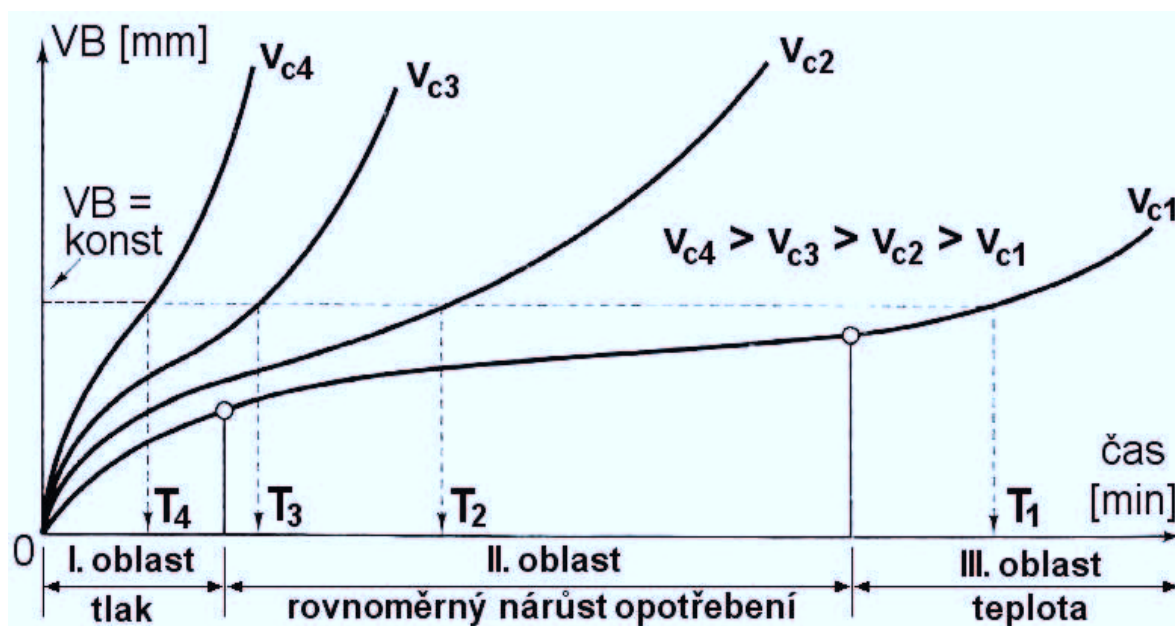


Obr. 3.4 Vliv teploty na jednotlivé mechanismy opotřebení [4].



Obr. 3.5 Vliv řezných podmínek na opotřebení [4].

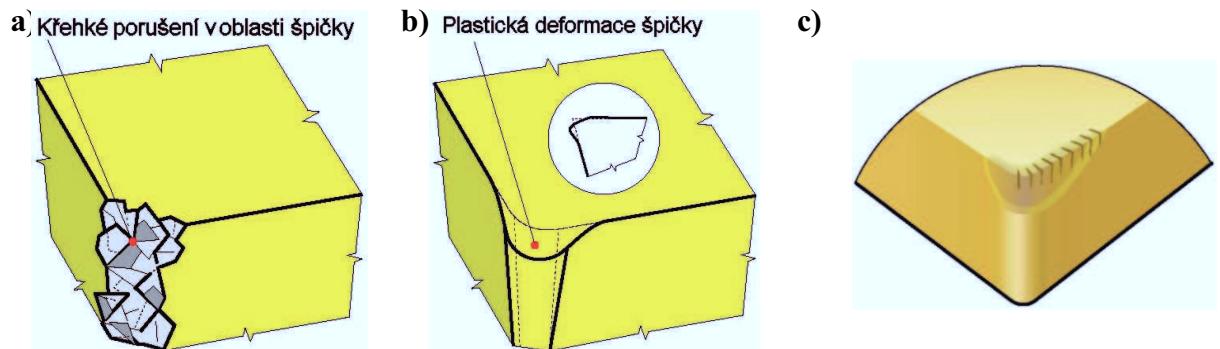
### 3.7 Časová závislost opotřebení pro různé řezné rychlosti



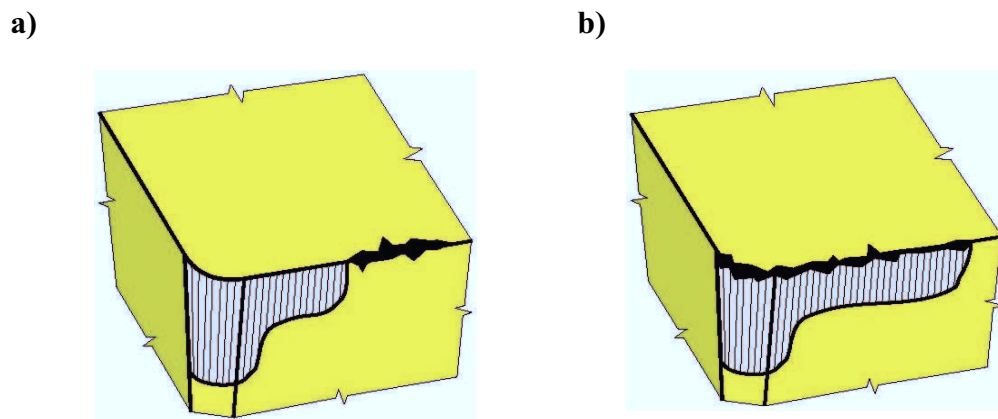
Obr. 3.6 Závislost opotřebení na čase při různých řezných rychlostech [1].

Doporučené hodnoty kritéria **VB** leží v rozsahu  $0,2 \div 0,8$  mm,  $v_{c1}$  křivka pro nejmenší řeznou rychlost. Poměrně rychlý nárůst hodnoty **VB** v oblasti **I** je způsoben velkým měrným tlakem, který působí na styku hlavního hřbetu nástroje s přechodovou plochou obrobku v důsledku velmi malé stykové plochy. V oblasti **II** hodnota **VB** rovnoměrně narůstá v důsledku působení základních mechanismů opotřebení, nakumulované tepelné zatížení nástroje znamená výrazné zvýšení intenzity opotřebení v oblasti **III** [1].

### 3.8 Schematické příklady opotřebení:



Obr. 3.6 a) Křehký lom, b) Plastické porušení, c) Hřebenovité trhliny [1].



Obr. 3.7 a) Vylomení mimo záběr, b) Vylomení v místě záběru [1].

### 3.9 Teplo a teplota řezání

Pro posouzení procesu řezání jsou tepelní jevy jedním z důležitých kritérií. Práce řezání potřebná ke vzniku třísky a k odchodu třísky z místa řezu se přeměňuje v teplo. Z toho lze odvodit celkové množství tepla vzniklé při obrábění za jednu minutu  $Q_c$  :

$$Q_c = F_c \cdot v \cdot t$$

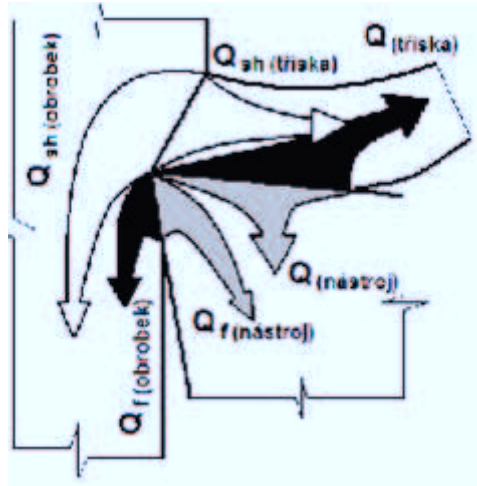
kde:  $F_c$  je řezná složka síly obrábění,

$v$  je řezná rychlost,

$t$  je doba řezání.

### 3.9.1 Schematické znázornění

Celkové teplo  $Q_c$  se šíří vedením a konvencí z míst zdrojů do třísky, obrobku, nástroje a okolního prostředí ve smyslu teplotního gradientu.



Obr. 3.8 Tepla vzniklé při obrábění [4].

### 3.9.2 Teplota v daném časovém okamžiku závisí na několika faktorech

- Fyzikální vlastnosti materiálu nástroje i obrobku.
- Řezné podmínky
- Způsob obrábění
- Řezné prostředí

### 3.9.3 Zdroje tepla

- $Q_1$  je teplo uvolněné v oblasti primární plastické deformace
- $Q_2$  je teplo uvolněné při kontaktu čela obráběcího nástroje s odcházející třískou
- $Q_3$  je teplo uvolněné při kontaktu hřbetu obráběcího nástroje s řeznou plochou
- Do okolního prostředí  $Q_p$  přestupuje tepelný tok povrchem třísky  $Q_t$ , povrchem nástroje  $Q_n$  a povrchem obrobku  $Q_o$ .

### 3.9.4 Rovnice tepelné bilance při obrábění

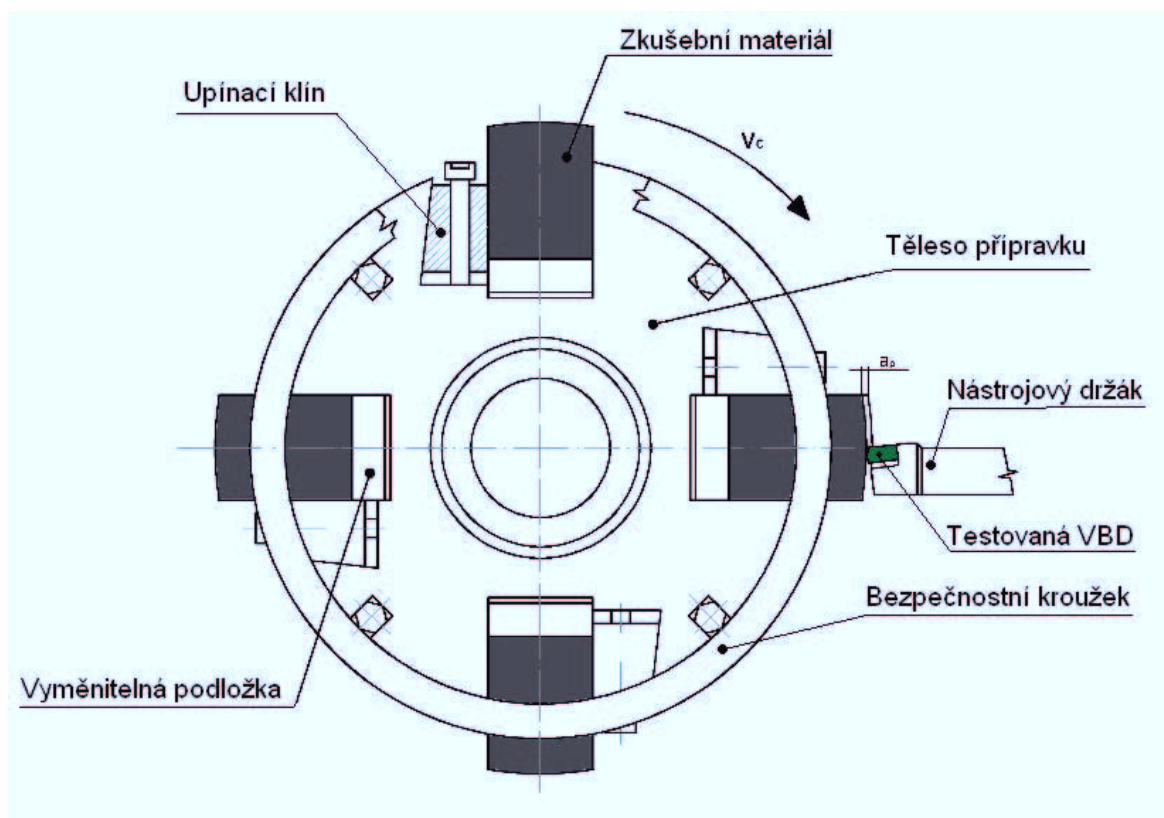
$$Q_c = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 = \gamma_t + \gamma_n + \gamma_o + \gamma_p$$



## 4 Experimentální testování nástrojů

### 4.1 Přerušovaný řez

Z celé škály známých testů pro přerušovaný řez byl zvolen test při podélném soustružení, tzv. lištový test. Pro uskutečnění tohoto testu potřebujeme speciální přípravek, který je upnutý do sklíčidla soustruhu a podepřen upraveným hrotem ustaveným v pinole koníku. Základní konstrukci speciálního přípravku tvoří válec, ve kterém jsou vyfrézovány 4 drážky o rozměru 60 x 48 mm v délce 600 mm, do vyfrézovaných drážek se ukládají lišty a upínají se pomocí sady upínacích klínů viz. (Obr. 4.1).



Obr. 4.1 Schéma přípravku pro podélné soustružení [5].

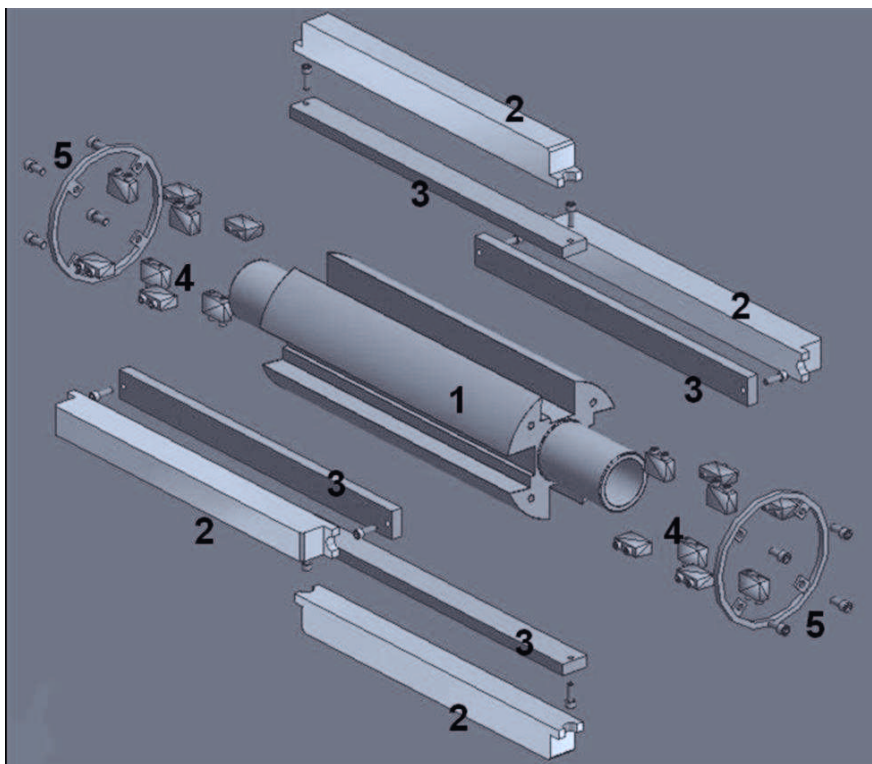
Tento přípravek byl zhotoven v rámci řešení grantového projektu GAČR č.101/93/0129 v laboratořích Katedry obrábění a montáže [6]. Testovaný nástroj se při této zkoušce posouvá v podélném směru od hrotu ke sklíčidlu obráběcího stroje. Během jedné otáčky je břit VBD vystaven 4 rázům při vnikání do obráběných lišt. Po konstrukční stránce byl přípravek navržen svými autory pro řeznou rychlost v rozsahu  $v_c =$  od 120 do 400 m.min<sup>-1</sup>, což pokrývá oblast použití SK a celý rozsah řezné keramiky [7].

Pro realizaci experimentů za účelem testování při vyšších řezných rychlostech je nutné zajistit dynamické vyvážení a zajištění vyměnitelných podložek proti uvolnění odstředivými silami při vysokých otáčkách vřetene [8].

#### 4.1.1 Sestavení přípravku

Před testováním je nutné celý přípravek upnout do soustruhu, upnout do něj lišty z testovaného materiálu a hlavně připravit a zajistit tuhé upnutí jednotlivých lišt. Jednotlivé lišty z obráběného materiálu jsou upínány pomocí klínových čelistí, které jsou orientovány tak, že je do nich zachycována odstředivá síla. Tyto klíny jsou z jedné strany zešíkmeny a jejich odtlačováním pomocí šroubů vzniká přítlačná síla působící na lišty.

Výhoda daného přípravku je snadná a relativně rychlá vyměnitelnost lišt testovaného materiálu a tím nám umožní používat různé druhy obráběného materiálu. Z hlediska bezpečnosti jsou na obou čelech přípravku přišroubovány pojistné kroužky. Ty nám zamezí, při nedostatečném upnutí lišt, zranění obsluhy stroje nebo jiným materiálním škodám, ke kterým by mohlo dojít při uvolnění vlivem odstředivé síly [8].



Obr. 4.2 Schéma rozloženého přípravku [9].

**1. Tělo přípravku** – válec, ve kterém jsou vyfrézovány 4 drážky, do kterých se ukládají lišty s vyměnitelnými podložkami. Jedna strana drážky je vyfrézována pod úhlem, aby pomocí klínu mohlo dojít k pevnému upnutí lišty.

**2. Obráběné lišty** – jsou to vyměnitelné obrobky z určitého materiálu o daných vlastnostech.

**3. Vyměnitelné podložky** – podložky, které se umísťují pod vyměnitelné lišty, zajišťují konstantní zachování řezné rychlosti. Podložky mají na svém konci šrouby z důvodu odstranění možných vibrací, které vznikají při nedokonalém upnutí obráběných lišt.

**4. Upínací klíny** – slouží pro upnutí obráběné lišty, na jednu lištu se používají 4 klíny. Klín je opatřen dvěma šrouby, díky kterým se získává síla přenášená třením mezi klíny a obrobkem.

**5. Pojistné kroužky** – jsou našroubovány z obou stran přípravku a slouží k zamezení, při nedostatečném upnutí lišt, zranění pracovníka nebo k jiným materiálním škodám, ke kterým by mohlo dojít vlivem odstředivé síly.



*Obr.4.3 Snímek z přípravy přípravku.*

## 4.2 Obráběné lišty

### 4.2.1 Materiál lišt

Testovaný materiál je jakostní ocel k zušlechťování 12 050 (C45). Ocelí C45 nelze nahradit ušlechtilé oceli C45E popř. C45R. C45 však lze nahradit ocelmi C45E resp. C45R.

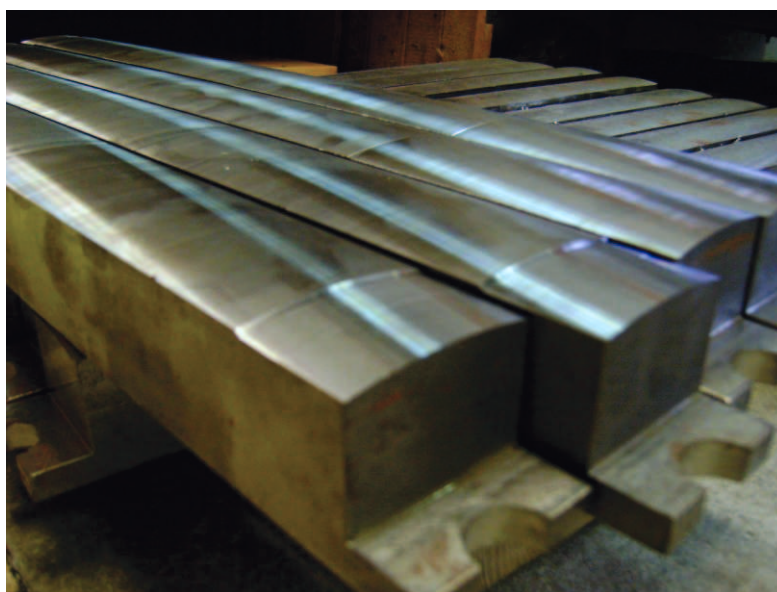
#### Použití

Často používaná nelegovaná ocel pro výrobu méně namáhaných strojních dílů ve stavu zušlechtěném nebo normalizačně žíhaném. Optimálních mechanických hodnot včetně houževnatosti se dosahuje v zakaleném a následně popuštěném stavu. U tvarově složitějších dílů se pro zamezení vzniku trhlin dává přednost kalení do oleje. Ocel je vhodná k povrchovému kalení plamenem nebo indukci.

Tab. 4.1 Vlastnosti materiálu 12 050 ( C45) [10].

Chemické složení /%/:							
C	Si max.	Mn	P max.	S max	Cr max	Mo max.	Ni max.
0,42-0,52	0,43	0,46-0,84	0,035	0,040	0,45	0,13	0,45
Mechanické vlastnosti v zušlechtěném stavu:							
Průměr /mm/	R <sub>e</sub> min. /MPa/	R <sub>m</sub> /MPa/	A min. /%/	Z min. /%/	KV min /J/		
d ≤ 16	490	700-850	14	35	-		
16<d ≤ 40	430	650-800	16	40	25		
40<d ≤ 100	370	630-780	17	45	25		
Mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném:							
Průměr /mm/	R <sub>e</sub> min. /MPa/	R <sub>m</sub> /MPa/	A min. /%/	Z min. /%/	KV min /J/		
d ≤ 16	340	min. 620	14	-	-		
16<d ≤ 100	305	580	16	-	-		
100<d ≤ 250	275	560	16	-	-		

Technologické vlastnosti:					
Tváření za tepla					
Doporučené rozmezí teplot pro tváření za tepla: 1150 až 850 °C.					
Tepelné zpracování:					
Normalizační žíhání /°C/	Žíhání na měkko /°C/	Isotermické žíhání /°C/	Teplota kalení /°C/	Kalicí prostředí	
840 až 880	650 až 700	800 až 950	820 až 860	voda nebo olej	
Teplota popouštění /°C/	Zkouška kalením čela /°C/				
550 až 660	850 ± 5				
Obrobitelnost					
Obrobitelnost třískovým obráběním může být ve stavu po válcování ztížená vlivem zvýšené pevnosti. Pro obrábění je výhodnější stav žíhaný na měkko.					
Stříhatelnost					
Přichází v úvahu např. při dělení tyčí na vsázkové délky pro zápusťkové kování. Ocel C45 je stříhatelná za studena i ve stavu po válcování u průměrů nad 80 mm.					



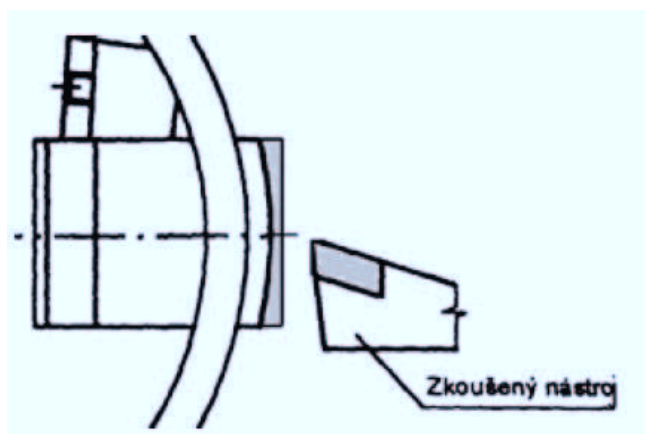
Obr. 4.4 Snímek lišt materiálu 12 050 (C45).



### 4.2.2 Úprava lišt před vlastním měřením

Aby test probíhal při konstantní řezné rychlosti, je nutné po odsoustružení vrstvy podložit lišty speciálními distančními podložkami (obr. 4.2), takže obrábění probíhá na stále stejném průměru. Před prvním měřením je nutné odřezat první hloubku třísky, aby byla zaručena konstantní hloubka třísky při testování (obr. 4.5).

Danou jednoduchou úpravou zajistíme i vyvážení proti rozkmitání soustavy, protože vzdálenost lišt od středu obrábění bude konstantní. Tato první tříska není uvedena ve výsledcích měření. Po úpravě je přípravek připraven a může probíhat vlastní testování VBD [8].



Obr. 4.5 Úprava lišt před začátkem měření [8].

### 4.3 Zvolený obráběcí stroj

Použit byl soustruh ZMM SLIVEN TYP 500, rok výroby 1982, který je umístěn v laboratořích Katedry obrábění a montáže, jedná se o stroj bulharské výroby viz (obr. 4.6). Soustruh je po generální opravě převodovky a je osázen komponenty pro plynulou změnu otáček. Této schopnosti bude v experimentu využito pro dodržení konstantních řezné rychlosti při změně průměru obráběných lišt. Výkon elektromotoru stroje je 6kw, a dosahuje otáčky maximálně 2000 min<sup>-1</sup>.



*Obr. 4.6 Obráběcí stroj ZMM Sliven.*

#### 4.4 Nástrojový držák a řezná geometrie

Oba druhy VBD z řezné keramiky mají normalizovaný tvar SNGN 120712. Nástrojový držák a geometrie obrábění byla zvolena s ohledem na normu ISO 3685 – Tool Life Testing of Single Point Turning Tools. VBD budeme uchycovat do nástrojového držáku CSRNR 25x25M12-K ,který splňuje normu ISO 3685 [8].

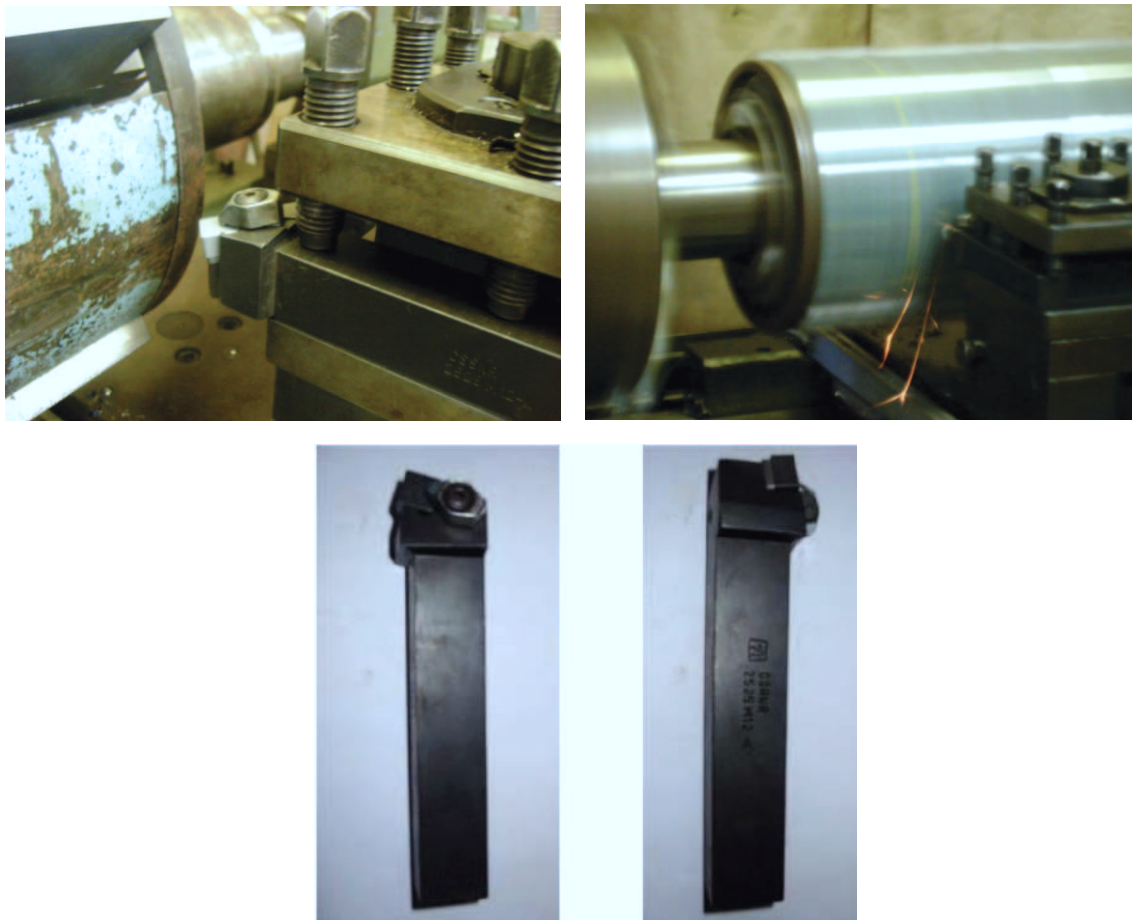
Geometrie pro nástroj z řezné keramiky:

Úhel čela  $\gamma = -6^\circ$

Úhel sklonu ostří  $\lambda_s = -6^\circ$ ,

Úhel nastavení hlavního ostří  $K_r = 75^\circ$ ,

Úhel špičky  $\epsilon_r = 90^\circ$



*Obr. 4.7 Nástrojový držák CSRNR 25x25M12-K.*

## 4.5 Testované nástrojové materiály

### 4.5.1 O firmě Tungaloy

Během více než 70leté historie skupina Tungaloy neustále přispívala k výrobnímu procesu svých zákazníků, a to poskytováním slinutých karbidových nástrojů, podporováním sofistikovanou technologií materiálů a nejmodernější technologií zpracování. Tyto obsahují kovové řezné nástroje, zastoupené vyměnitelnými břitovými destičkami a ocelovými výrobky, PCB vrtáky, nástroje odolné proti opotřebení, nástroje pro stavebnictví, a další nástroje z pokročilých materiálů.

Tungaloy také nabízí výjimečné produkty, třecí materiály, které jsou založeny na práškové metalurgii, a jsou přijímány s podporou a důvěrou našich zákazníků.



Tungaloy zcela ručí svým zákazníkům za zajištění kontroly kvality svých výrobků. Kromě toho, Tungaloy označuje jako vysoce cílenou prioritu svého řízení ochranu životního prostředí a bude se i nadále vážně iniciovat ve snížení zátěže na životní prostředí. Tento postoj se odráží v našem vývoji ekologicky šetrných výrobků, stejně jako v našem úsilí ohledně ekologických zakázek, recyklace výrobků a nakládání s odpady [11].

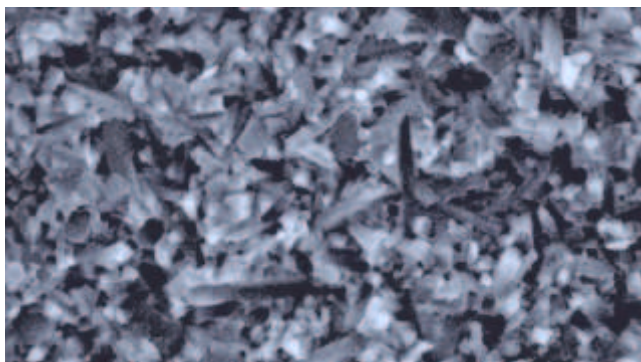
#### 4.5.2 Testované VBD

Testovány byly 2 druhy VBD od již zmíněného výrobce Tungaloy a to 4 destičky FX105 a 4 destičky CX710. Jedná se o destičky normalizovaného tvaru SNGN 120712.

Dané řezné keramiky se skládají z vysoce čistých jemných prášků kysličníků, nitridů a karbidů, slinutých za normálního tlaku, tlaku plynu a spékáním HIP. Jemná a hutná struktura zajišťuje vynikající odolnost proti opotřebení, odolnost proti adhezi a žáruvzdornost. Tyto materiály umožňují obrábění při vysokých řezných rychlostech v širokém rozsahu od dokončování až po lehké obrábění při vysoké přesnosti a vysoké kvalitě konečných povrchů. Keramické materiály jsou zařazeny do skupin na bázi kysličníku hliníku a nitridu křemíku, z každé skupiny lze vybrat podle použití. Destičky jsou třídy K – litina, tvrzená litina, temperovaná litina.

**FX105** - keramika na bázi nitridu křemíku používaná k obrábění litin vysokými řeznými rychlostmi. Má vysokou pevnost, houževnatost a tepelné charakteristiky v porovnání s keramikou na bázi  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**CX710** -  $\text{Si}_3\text{N}_4$  na bázi keramiky pro obrábění litin vysokými řeznými rychlostmi. Vyšší houževnatost a tepelná vodivost než u FX105 [12].



*Obr. 4.8 Mikrostruktura materiálu FX105 [12].*

#### 4.6 Řezné parametry

Než se začalo měřit, tak jsme stanovili a nastavili řezné parametry na použitém obráběcím stroji. Pro jednotlivé VBD byli použity různé řezné parametry, měnila se řezná rychlost, posuv, délka soustružení která byla zvolena dle výpočtu  $l=(R \times f)/4$ , kde  $R$  je počet rázů a  $f$  je posuv. Hloubka úběru pro všechny VBD byla 1[mm]. Viz. (tab. 1.5).

Tab. 4.2 Použité řezné parametry.

Počet rázů $R$ [-]	6000
Posuv $f$ [mm]	0,15 ; 0,2 ; 0,25 ; 0,3
Obráběná délka $l$ [mm]	225 ; 300 ; 375 ; 450
Hloubka řezu $a_p$ [mm]	1
Řezná rychlost $v_c$ [m.min <sup>-1</sup> ]	408 ; 580

#### 4.7 Vyhodnocovací zařízení

Jednotlivé snímky opotřebení hřbetu a čela vyměnitelné břitové destičky, byly pořízeny mikroskopem INTRACO MICRO (obr 4.9), zvětšení bylo 4 násobné pomocí digitální videokamery. Mikroskop je připojený k počítači, který je vybaven softwarem IMPOR 5 pro online kótování geometrických parametrů (délky, úhly, poloměry, apod.) [5].



Obr. 4.9 Mikroskop INTRACO MICRO.

## 5 Vyhodnocení experimentálního měření

### 5.1 Sledování počtu rázů

Dle parametru počtu rázů  $R = 6000[-]$  a posuvu  $f = 0,15; 0,2; 0,25; 0,3[\text{mm}]$ , jsme si určili délku obrábění  $l[\text{mm}]$ . Pokud při měření došlo k lomu neboli destrukce nástroje (zaznamenali jsme to změnou zvuku, jiskřením z místa řezu či zhoršením drsnosti povrchu), tak testovaná VBD nevydržela danou délku obrábění  $l[\text{mm}]$ , vypočtenou pomocí vzorce pro  $R = 6000[-]$ . Pokud destička vydržela, tak se považuje za kvalitní a test byl ukončen. Tomuto kritériu odpovídá pro každý posuv jiná obrobená délka viz (tab. 5.1), po dosažení hraniční obrobené délky byl proces testování pro jednotlivou destičku ukončen. Měření bylo provedeno na více vyměnitelných destičkách stejného druhu, vždy byly měřeny dvě hrany (označení „a“, „b“).

**Vzorec pro výpočet počtu rázů:**

$$R = \frac{4 \cdot l}{f}$$

kde: R.....počet rázů [-],  
 l.....obrobená délka [mm],  
 f.....posuv [mm],  
 4.....počet lišt v přípravku.

*Tab. 5.1 Výpočet obrobené délky pro daný posuv a počet rázů.*

Posuv $f$ [mm]	Počet rázů $R$ [-]	Obrobená délka $l$ [mm]
0,15	6000	225
0,20	6000	300
0,25	6000	375
0,30	6000	450

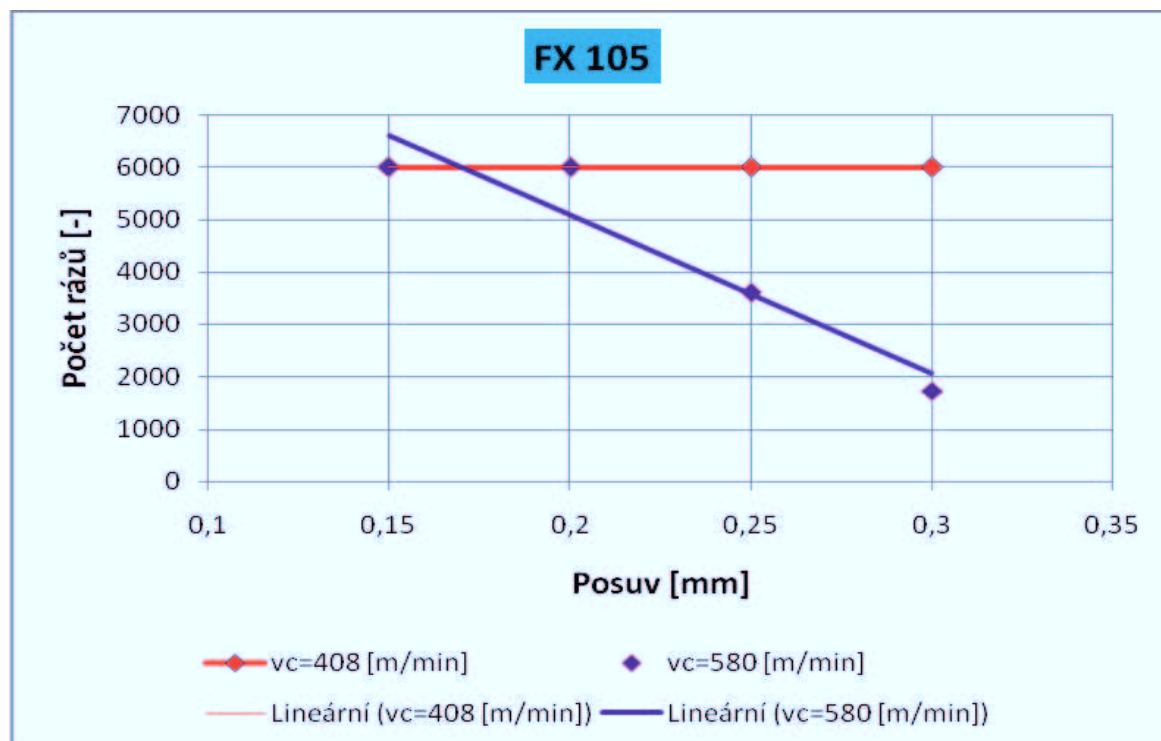
## 5.2 Výsledky měření

Po obrobení lišt z oceli 12 050 (C45) o mechanických vlastnostech viz (tab. 4.1), jsme došli k hodnotám uvedených v následujících tabulkách měření. Každé měření probíhalo 3x a v tabulce je jejich průměr. Jednotlivé destičky byli při měření označeny čísly, vždy byli měřeny dvě hrany jedné VBD a ty byli označeny „a“ a „b“. Použité VBD z řezné keramiky značky Tungaloy (CX710 a FX105) jsou v tabulkách i grafech barevně odlišeny. Počet rázů uveden v tabulkách je již přepočítán z obrobené délky.

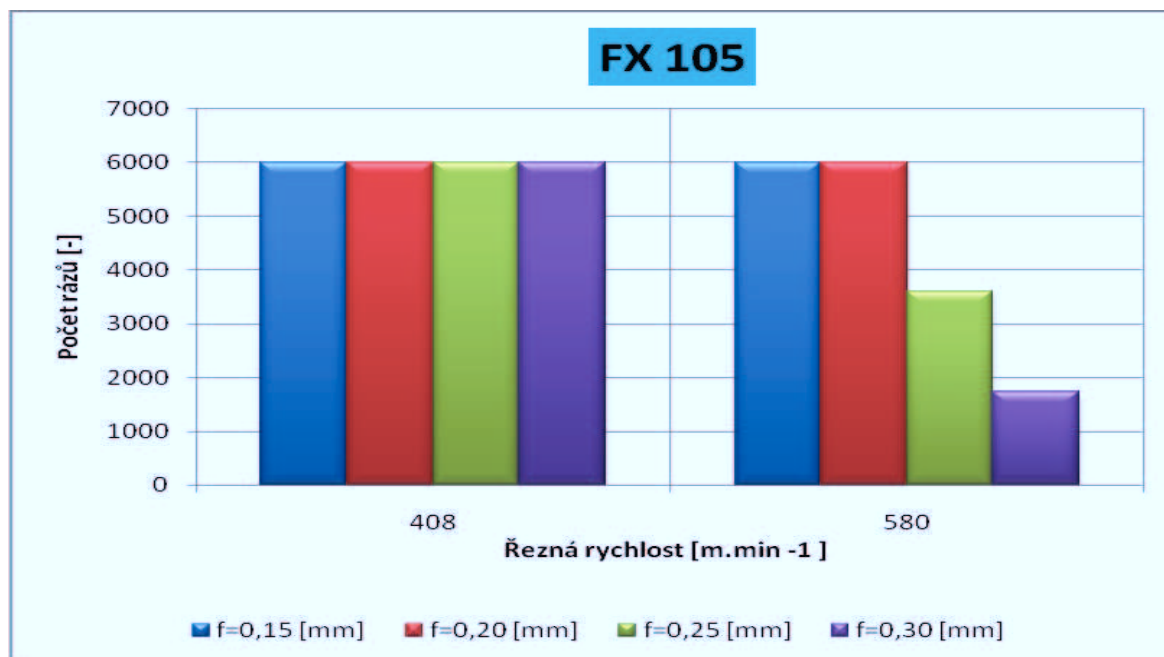
### 5.2.1 Výsledné hodnoty pro destičky FX 105

Tab. 5.2 Výsledné hodnoty pro destičky FX 105

FX 105				FX 105			
$v_c=408$ [m.min <sup>-1</sup> ], $a_p=1$ [mm]				$v_c=580$ [m.min <sup>-1</sup> ], $a_p=1$ [mm]			
VBD	f [mm]	l [mm]	R[-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R[-]
1a	0,15	225	6000	3a	0,15	225	6000
1b	0,20	300	6000	3b	0,20	300	6000
2a	0,25	375	6000	4a	0,25	<b>225</b>	<b>3600</b>
2b	0,30	450	6000	4b	0,30	<b>130</b>	<b>1734</b>



Obr. 5.1 Závislost počtu rázů na posuvu.



Obr. 5.2 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti.

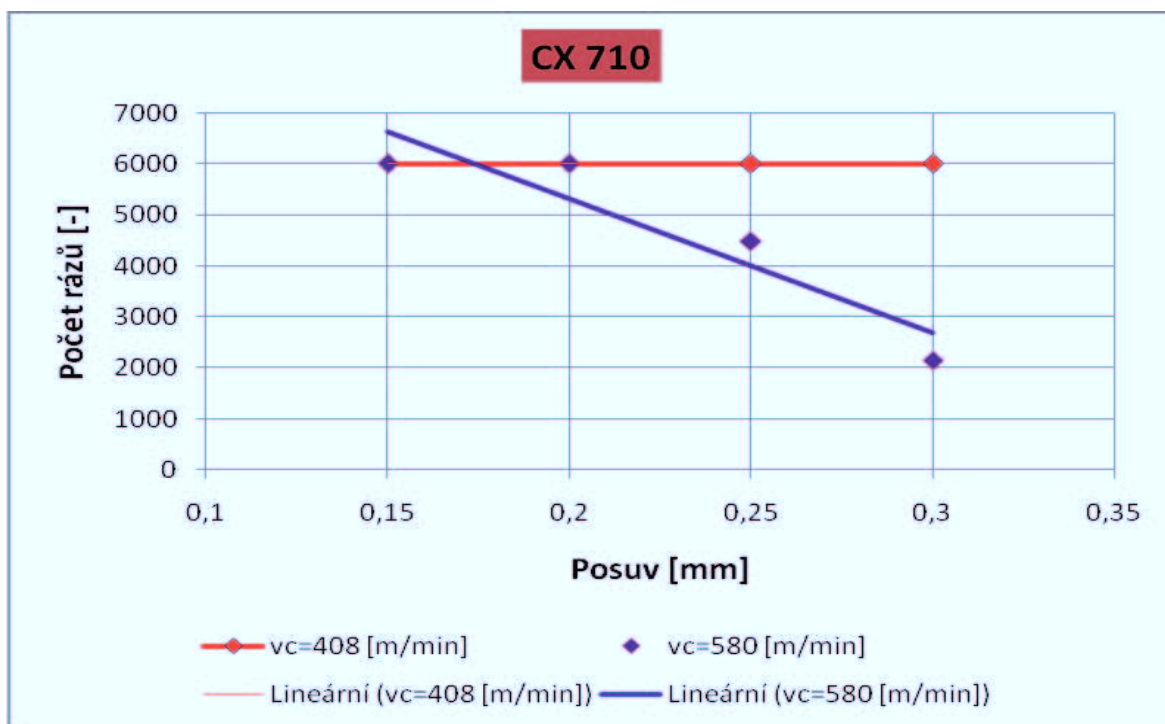
Dle grafu 5.1 je zřejmé, že počet rázů VBD FX 105 při řezné rychlosti  $v_c=408[\text{m.min}^{-1}]$  dosáhl hodnoty  $R=6000$  rázů pro všechny posuvy. Při řezné rychlosti  $v_c=580[\text{m.min}^{-1}]$ , destičky se zvyšujícím se posuvem vydrží menší počet rázů.

U grafu 5.2 vidíme, že při nižších posuvech vydrží břit nástroje více rázů. Při posuvu  $f=0,15 \text{ mm}$  a  $f=0,20 \text{ mm}$  je počet rázů maximální a při posuvu  $f=0,25 \text{ mm}$  a  $f=0,30 \text{ mm}$  začne počet rázů klesat.

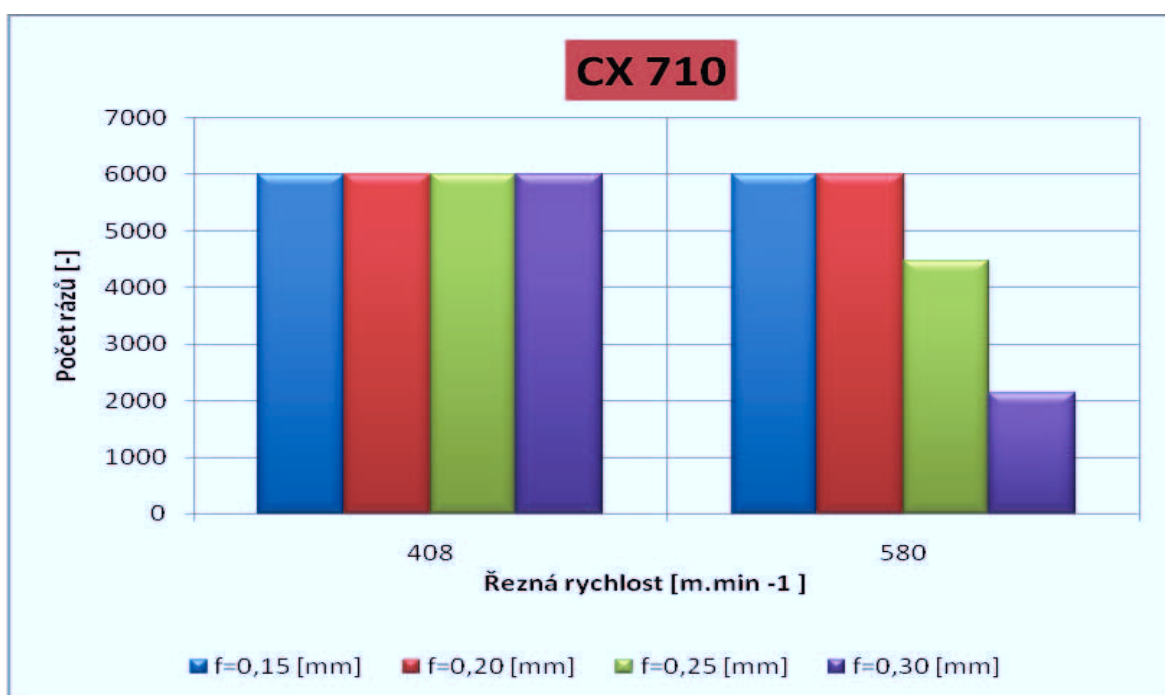
### 5.2.2 Výsledné hodnoty pro destičky CX 710

Tab. 5.3 Výsledné hodnoty pro destičky CX 710

CX 710				CX 710			
$v_c=408 [\text{m.min}^{-1}]$ , $a_p=1 [\text{mm}]$				$v_c=580 [\text{m.min}^{-1}]$ , $a_p=1 [\text{mm}]$			
VBD	f [mm]	l [mm]	R[-]	VBD	f [mm]	l [mm]	R[-]
1a	0,15	225	6000	3a	0,15	225	6000
1b	0,20	300	6000	3b	0,20	300	6000
2a	0,25	375	6000	4a	0,25	<b>280</b>	<b>4480</b>
2b	0,30	450	6000	4b	0,30	<b>160</b>	<b>2134</b>



Obr. 5.3 Závislost počtu rázů na posuvu.



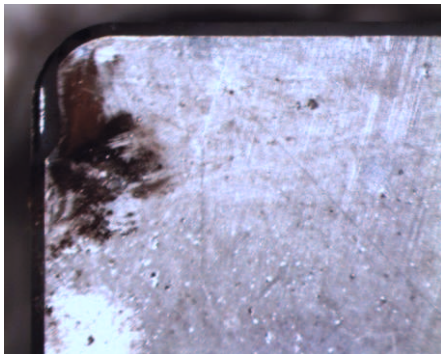

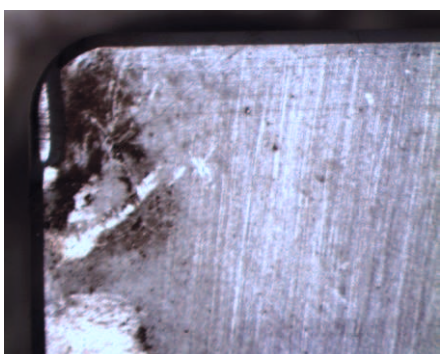
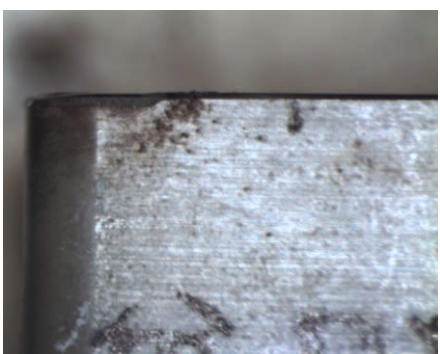


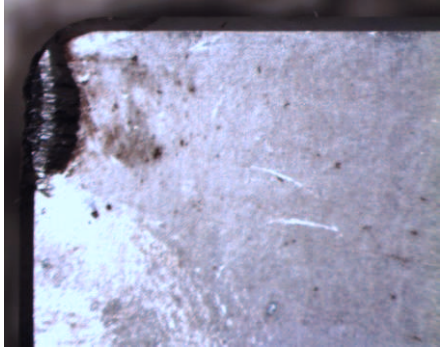

Obr. 5.4 Závislost počtu rázů na řezné rychlosti.





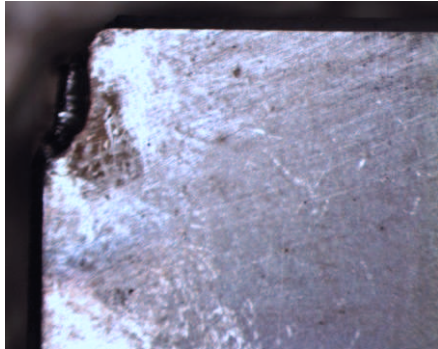



Z grafu 5.3 a 5.4 jde vidět, že výsledky jsou velmi podobné výsledkům u destičky FX 105. Liší se pouze počtem rázů při řezné rychlosti  $v_c=580[\text{m.min}^{-1}]$ , posuvu  $f=0,25 \text{ mm}$  a  $f=0,30 \text{ mm}$  kde jsou výsledky lepší než u destičky FX 105.



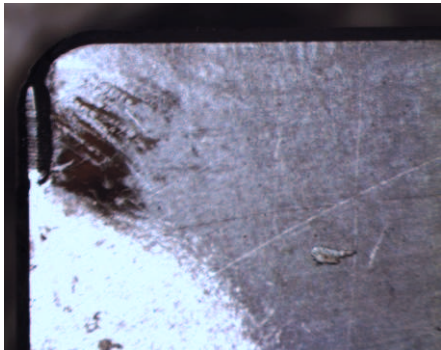

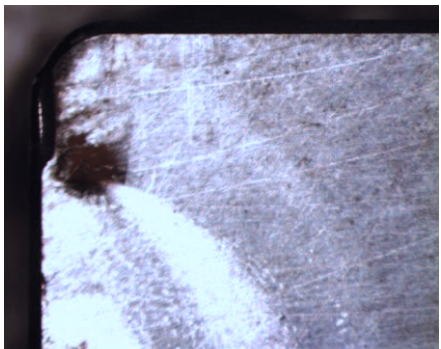
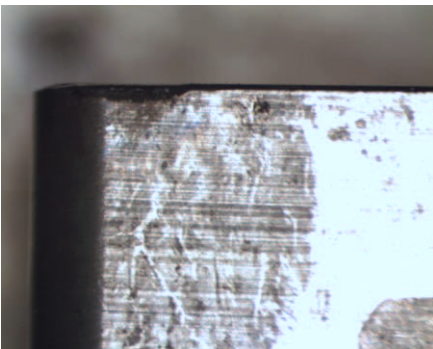
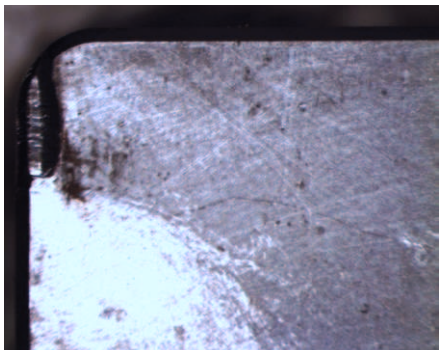
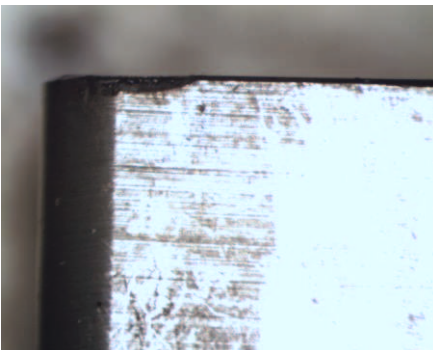
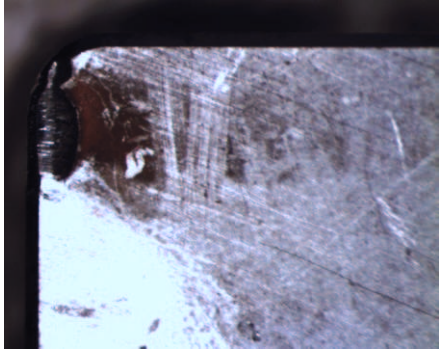

### 5.3 Snímky opotřebení jednotlivých VBD

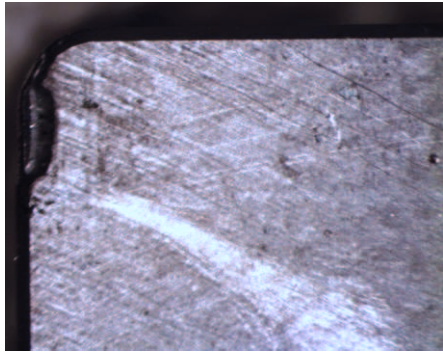
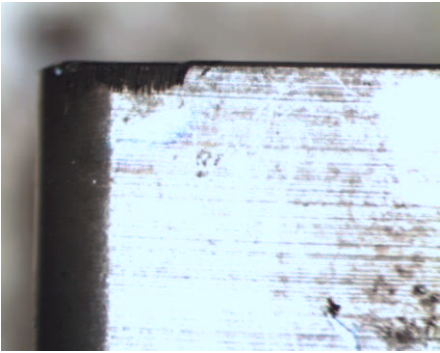
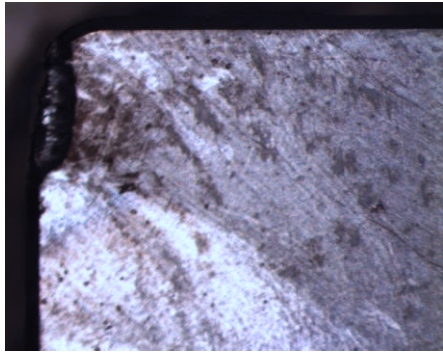
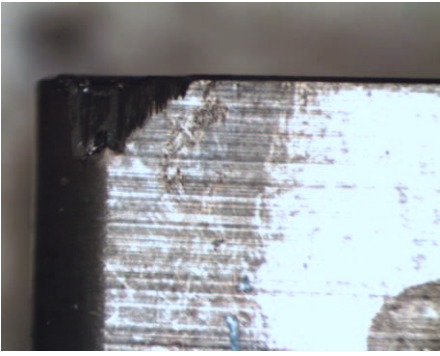
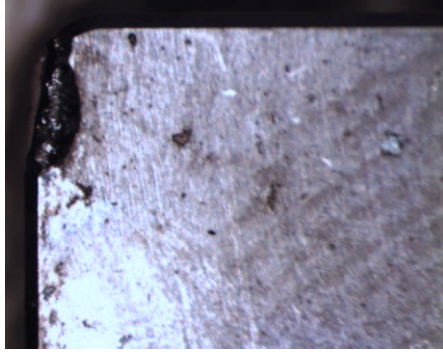
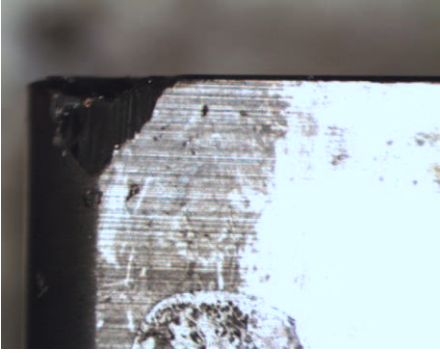


Tab. 5.4 Snímky opotřebení VBD.

<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>1a</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,15</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p>  <p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>1b</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,20</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p>  <p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>2a</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,25</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p>  <p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>2b</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,30</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p>  <p>Hřbet:</p> 

<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>3a</b></p> <p><math>v_c=580</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,15</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>3b</b></p> <p><math>v_c=580</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,20</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>4a</b></p> <p><math>v_c=580</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,25</math> [mm]  <math>R=3600</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD FX 105</b></p> <p><b>4b</b></p> <p><math>v_c=580</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,30</math> [mm]  <math>R=1734</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 



<p><b>VBD CX 710</b></p> <p><b>1a</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,15</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD CX 710</b></p> <p><b>1b</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,20</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD CX 710</b></p> <p><b>2a</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,25</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 
<p><b>VBD CX 710</b></p> <p><b>2b</b></p> <p><math>v_c=408</math> [m/min]  <math>a_p=1</math> [mm]  <math>f=0,30</math> [mm]  <math>R=6000</math> [-]</p>	<p>Čelo:</p> 	<p>Hřbet:</p> 

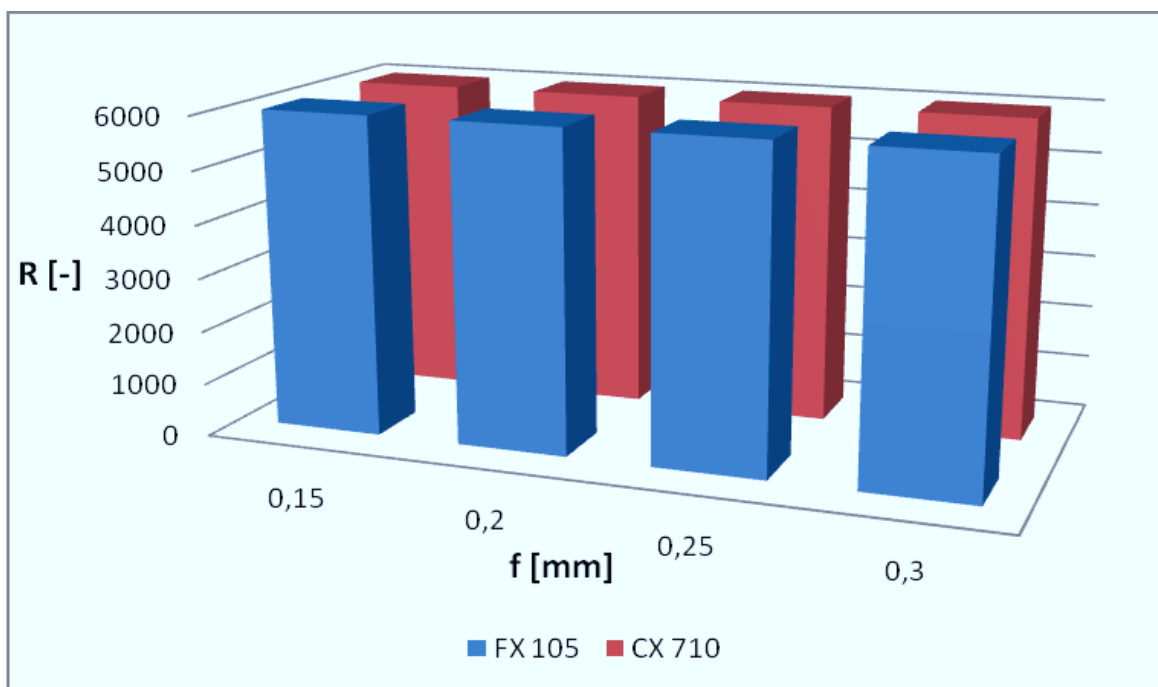
<b>VBD CX 710</b> <b>3a</b> $v_c=580$ [m/min] $a_p=1$ [mm] $f=0,15$ [mm] $R=6000$ [-]	Čelo: 	Hřbet: 
<b>VBD CX 710</b> <b>3b</b> $v_c=580$ [m/min] $a_p=1$ [mm] $f=0,20$ [mm] $R=6000$ [-]	Čelo: 	Hřbet: 
<b>VBD CX 710</b> <b>4a</b> $v_c=580$ [m/min] $a_p=1$ [mm] $f=0,25$ [mm] $R=4480$ [-]	Čelo: 	Hřbet: 
<b>VBD CX 710</b> <b>4b</b> $v_c=580$ [m/min] $a_p=1$ [mm] $f=0,30$ [mm] $R=2134$ [-]	Čelo: 	Hřbet: 

V tab. 5.4 jsou uvedeny pomocí mikroskopu Intraco Micro snímky opotřebení čela a hřbetu nástroje.

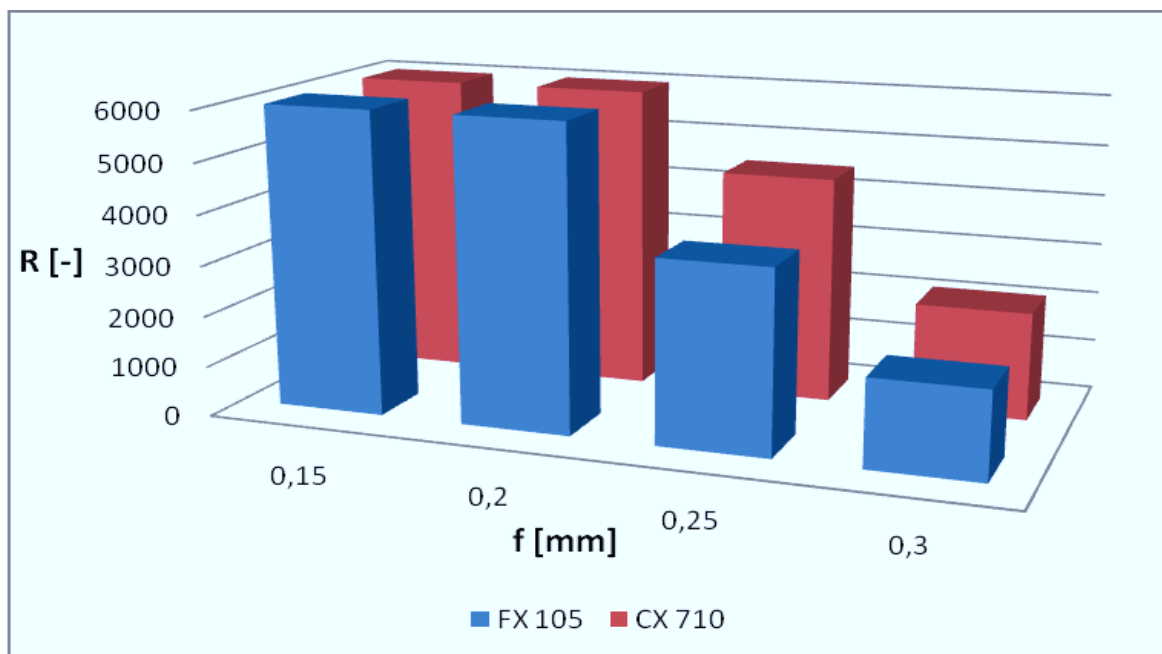
## 6 Zhodnocení výsledků

K vyhodnocování testů jsme použili všechny naměřené hodnoty pro dané typy keramických řezných destiček (FX105 a CX710) od společnosti Tungaloy. Výsledky pro oba typy keramických řezných destiček v závislosti s řeznými rychlostmi, posuvy a počty rázů jsou uvedeny v následujících grafech (*obr. 6.1, obr. 6.2, obr. 6.3*). V grafech je jasné dle vzájemného porovnání použitých řezných destiček, která je nejvhodnější pro podélné obrábění přerušovaným řezem.

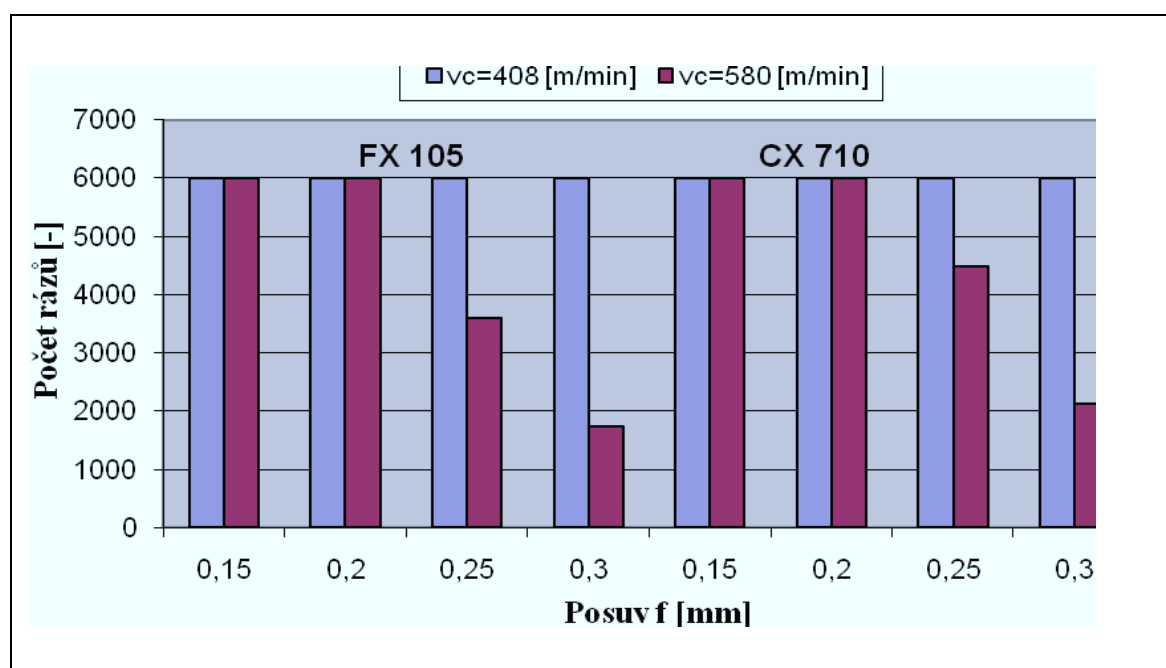
U závislosti počtu rázů na posuvech pro obě řezné rychlosti viz *obr. 6.3* vidíme, že jak destičky typu FX105 tak i destičky typu CX710, vydržely limitní počet rázů (6000) u řezné rychlosti  $v_c = 408[\text{m/min}]$  a to pro všechny posuvy. Za to u řezné rychlosti  $v_c = 580[\text{m/min}]$  tomu tak nebylo. U řezné rychlosti  $v_c = 580[\text{m/min}]$  vydržely destičky limitní počet rázů (6000) pouze pro posuvy  $f = 0,15[\text{mm}]$  a  $f = 0,20[\text{mm}]$ . U posuvů  $f = 0,25[\text{mm}]$ ,  $f = 0,30[\text{mm}]$  a řezné rychlosti  $v_c = 580[\text{m/min}]$  je dle grafu viditelné, že větší počet rázů zvládne destička CX710. Z toho vyplývá, že pro přerušovaný řez je z testovaných destiček nejvhodnější.



*Obr. 6.1 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost  $v_c = 408[\text{m/min}]$ .*



Obr. 6.2 Závislost počtu rázů na posuvech pro řeznou rychlost  $v_c = 580$  [m/min].



Obr. 6.3 Závislost počtu rázů na posuvech pro obě řezné rychlosti.



## 7 Závěr

Cílem bakalářské práce bylo díky počtu rázů, které VBD zvládne do opotřebení, zjistit trvanlivost a životnost VBD z řezné keramiky. Testovány byly 2 druhy řezné keramiky od výrobce Tungaloy a to 4 destičky FX105 a 4 destičky CX710. Obráběným materiálem byla ocel 12 050 (C45). Obráběcím strojem byl soustruh ZMN SLIVEN typ 500, rok výroby 1982. A to za použití speciálního přípravku pro podélné soustružení přerušovaným řezem, zhotoveným na Katedře obrábění a montáže Fakulty strojní VŠB – TU Ostrava.

Každý test jednotlivých destiček byl proveden na simulátoru přerušovaného řezu při konstantní hloubce třísky  $a_p = 1[\text{mm}]$ , dvou řezných rychlostech  $v_c = 408[\text{m/min}]$ ,  $v_c = 580[\text{m/min}]$  a čtyřech posuvech  $f = (0,15; 0,20; 0,25; 0,30) [\text{mm}]$ . Sledovali jsme počet rázů  $R$ , který byl vypočten pro každou destičku z obrobené délky. Po provedení veškerých testování řezných keramik Tungaloy, bylo zřetelné, že při zvyšujícím se posuvu a řezné rychlosti počet rázů klesá.

Zvolené destičky Tungaloy a to jak destičky typu FX105 tak i destičky typu CX710, vydržely limitní počet rázů (6000) u řezné rychlosti  $v_c = 408[\text{m/min}]$  a to pro všechny posuvy. Za to u řezné rychlosti  $v_c = 580[\text{m/min}]$  tomu tak nebylo. U řezné rychlosti  $v_c = 580[\text{m/min}]$  vydržely destičky limitní počet rázů (6000) pouze pro posuvy  $f = 0,15[\text{mm}]$  a  $f = 0,20[\text{mm}]$ . U posuvů  $f = 0,25[\text{mm}]$ ,  $f = 0,30 [\text{mm}]$  a řezné rychlosti  $v_c = 580[\text{m/min}]$  bylo zřetelné, že větší počet rázů zvládne destička CX710.

Závěry jsou tedy jasné, oba druhy destiček jsou vhodné pro soustružení podélným přerušovaným řezem při nižší řezné rychlosti  $v_c = 408[\text{m/min}]$ . Ale při vyšší rychlosti  $v_c = 580[\text{m/min}]$ , vydrží limitní počet rázů (6000) obě destičky jen u posuvů  $f = 0,15[\text{mm}]$  a  $f = 0,20[\text{mm}]$ . Při dalších posuvech vydrží větší počet rázů destička CX710.

Z toho vyplývá, že pro přerušovaný řez je z testovaných destiček nejvhodnější VBD CX710.

**Poděkování**

Rád bych chtěl poděkovat panu Ing. Robertu Čepovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této bakalářské práce.

## Seznam použité literatury

- [1] Technologie II–1.díl (Josef Brychta, Robert Čep, Jana Nováková, Lenka Petřkovská)
- [2] HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Brno: MM Publishing Praha, 2008, 235s. ISBN 978-80-254-2250-5.
- [3] Technologie obrábění – 1. část Studijní opory pro magisterskou formu studia (Doc. Ing Anton Humár,CSc.)
- [4] Obrábění II–1.díl – Fyzikální mechanické zákonitosti procesu obrábění (O.Bílík)
- [5] REINER, J. Zkoušky nástrojů z řezné keramiky na simulátoru přerušovaného řezu: diplomová práce. Ostrava: FS VŠB – TU Ostrava, 2009. 73 s.
- [6] MRKVICA, M.; BILÍK, O.; SIKORA, R. Spolehlivost a diagnostika nástrojových materiálů v podmínkách přerušovaného řezu. Závěrečná zpráva o řešení grantového projektu GAČR č. 101/93/0129 za rok 1993 - 1995. Ostrava: FS VŠB- TU Ostrava, 1995. 34 s.
- [7] BILÍK, O.; VLČEK, M. *Testování nástrojových materiálů s vyšší křehkostí v podmínkách přerušovaného řezu: Zpráva o řešení interního grantového projektu za rok 2000*. Ostrava: FS VŠB – TU Ostrava, 2000. 22 s.
- [8] ČEP, Robert. *Zkoušky nástrojů z řezné keramiky v podmínkách přerušovaného řezu*: Disertační práce. Ostrava: FS VŠB - TU Ostrava, 2005. 101 s.
- [9] ČEP, Robert; PFEILER, Petr. Shock Number Determination for DISAL D320 Ceramic Cutting Inserts during Interrupted Machining. In. *The International Conference of the Carpathian Euroregion Specialist in Industrial Systems*. Baia Mare : North University of Baia Mare, 2008. s. 75 – 80. ISSN 1224 – 3264.
- [10] [http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled\\_vlast\\_C45/](http://prirucka.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/techprirI/tycovaocel/EN10083/Prehled_vlast_C45/)
- [11] <http://www.proimc.cz/cz/strojirenstvi/nastroje/tungaloy?print>
- [12] [http://tungaloy.eu/catalog/t\\_12.pdf](http://tungaloy.eu/catalog/t_12.pdf)